



Escuela  
Politécnica  
Superior

# Revisión histórica de una actividad e innovación docente en el ámbito universitario: Concurso de Estructuras



Grado en Arquitectura Técnica

## Trabajo Fin de Grado

Autor:  
Lidia Gómez Vera

Tutor:  
Juan Carlos Pomares Torres

Junio 21



Universitat d'Alacant  
Universidad de Alicante

---

## AGRADECIMIENTOS

---

*En primer lugar, por el apoyo, orientación y dedicación al tutor del presente proyecto.*

*Al apoyo incondicional de amigos y familia, en especial a los que nos han dejado de acompañar de forma física.*

*A todos los colaboradores y personas que hacen posible la investigación, desarrollo y evolución en el ámbito de la educación.*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. Introducción.....	7
2. Estado del arte.....	16
3. Objetivos.....	24
4. Metodología .....	27
5. Tipos de concursos	
5.1. Ámbito NACIONAL .....	29
5.2. Ámbito INTERNACIONAL .....	32
6. Comparativa concursos universitarios.....	38
7. Estudio realizado	
7.1 XIX EDICIÓN DEL CONCURSO DE ESTRUCTURAS DE LA UA.....	41
7.2 APRENDIZAJE DE LAS ESTRUCTURAS MEDIANTE LAS MAQUETAS MOLA.....	46
7.3 FASE DE CÁLCULO POR ORDENADOR.....	51
8. Resultados Obtenidos	
8.1.IMPLANTACIÓN, PRESENTACIÓN, DEBATE, ENCUESTA PREVIA Y FINAL	57
9. Conclusiones .....	70
10. Referencias Bibliográficas.....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Maqueta (izda) e imagen de la Sagrada Familia volteada 180° (dcha) .....	8
Fig. 2; Imagen del montaje recién terminado (izda) y después de aplicar calor sobre el mod Homeostático	9
Fig. 3; Experimentos con fibra textil y pompas de jabón de Frei Otto .....	10
Fig. 4; Vista aérea Estadio Olimpico de Munich.....	10
Fig. 5; Captura de YouTube de la entrevista de Ter a Mike Schlaich .....	11
Fig. 6; Pasarela peatonal Trumpf.....	11
Fig. 7. Tasa de éxito asignaturas del segundo semestre del 2º Curso del Grado de Fundamentos de la Arquitectura. ST1; Estructuras I (35518) Universidad de Alicante .....	16
Fig.8; Alumnos Aprobados frente a Matriculados y Presentados de la asignatura de Cálculo de Estructuras I (16017) del Grado de Arquitectura Técnica de la UA curso 2018/19. ....	17
Fig.9. Clase de Teoría de Cálculo de Estructuras I GAT; (ACHE, 2013) .....	18
Fig. 10. Gráfico del Promedio de Participantes por Edición .....	19
Fig. 11. Primer puesto de la Edición XIV del Concurso de Estructuras.....	21
Fig. 12. Primer puesto de la Edición XVII del Concurso de Estructuras .....	21
Fig.13. Prototipos de la Edición XVIII del Concurso de Estructuras.....	22
Fig. 14. Resultados de las encuestas de la Edición XVIII UA.....	26
Fig.15. Muestra de prototipos que diseña Pippard para sus clases.....	29
Fig. 16. Columna de papel, puentes de espagueti y muros de madera.....	33
Fig. 17. Prototipos de polipropileno del Festival de Tongji 2019 .....	34
Fig. 18. Vista aérea de los prototipos de cartón, anteriores al 2019 en el Festival Tongji .....	34
Fig. 19. Participantes Universidad de Canterbury realizando la prueba de carga .....	35
Fig. 20. Diapositiva de la presentación del XIX Concurso de Estructuras.....	41
Fig. 21. Esquema de la Estructura de la XIX Edición del Concurso de Estructuras de la UA.....	41
Fig. 22. Bocetos iniciales .....	42
Fig. 23. Bocetos finales.....	42
Fig. 24. Alzado del boceto definitivo con vistas de planta y perfil.....	43
Fig. 25. Experimentaciones con papel descartadas .....	43
Fig. 26. Solución de la manipulación del papel .....	44
Fig. 27. Fase de construcción y materiales utilizados .....	44
Fig. 28. Justificación de medidas mínimas. ....	45
Fig. 29. Estructura terminada.....	45
Fig. 30. Ingenieros del proyecto demuestran los principios de voladizo del puente Forth en Escocia; 1887 (izda). Alumnos de Ingeniería Universidad de Cartagena; 2016 (dcha) .....	46
Fig. 31: Imagen real del puente Forth (arriba) y su representación con Mola (bajo) .....	47
Fig. 32. Celosía de la empresa alemana gunt.es.....	47
Fig. 33. Kit 2 Mola en su caja (izda) y bocetos con 3 o 4 apoyos de la estructura Mola (dcha) .....	48
Fig. 34. Estructura Mola con tres y cuatro apoyos.....	48
Fig. 34. Construcción de la cota de malla, emplazamiento y puesta en maqueta.....	49
Fig. 35. Estructura Mola con cota de malla cargada en el centro y a la derecha.....	50

Fig. 36. Estructura en Cespla 7 con deslizadera y apoyo donde se observa su tipología inicial, la carga, el contrapeso y la deformada según la hipótesis de carga establecida.....	53
Fig. 37. Captura Cespla 7 del esfuerzo axil (izda) y del esfuerzo cortante (dcha) .....	53
Fig. 38. Momento flector (izda), diagramas de axil, cortante y flector juntos con deformada (dcha).....	54
Fig. 39. Resultados numéricos Cespla 7, sección correspondiente al pilar principal de la estructura planteada	54
Fig. 40. Resultados deformada 2 (izda) y datos numéricos (dcha) al añadir la diagonal .....	55
Fig. 41. Resultados deformada 3 (izda) y datos numéricos en cm. del P3 (dcha).....	56
Fig. 42. Resultado de las cuestiones sobre fuentes, recursos y motivación previa en la materia .....	58
Fig. 43. Resultado de las cuestiones cerradas de la encuesta previa a través de Google forms .....	59
Fig. 44. Celebración del XIX Concurso de Estructuras de la UA, Politécnica IV .....	60
Fig. 45. Estructura con contrapeso (izda), estructura sin contrapeso (dcha).....	61
Fig. 46. Estructura tipología Z (izda), estructura tipología C (dcha).....	62
Fig. 47. Estructura con pegamento (izda), estructura con cinta adhesiva (dcha).....	62
Fig. 48. Estructura con grapas metálicas (izda), estructura con piezas plásticas(dcha).....	62
Fig. 49. Gráfico de los datos del peso propio y carga de rotura de los prototipos participantes del XIX Concurso de Estructuras de la UA.....	63
Fig. 50. Gráfico de los datos de los participantes del XIX Concurso de Estructuras de la UA .....	64
Fig. 51. Primera, segunda y tercera maqueta clasificada en la XIX Edición del Concurso .....	64
Fig. 52. Gráfico del promedio de las respuestas al cuestionario de satisfacción docente de la XIX Edición del Concurso de Estructuras de la Universidad de Alicante.....	66
Fig. 53. Muestra de la actividad impresa Educaplay (izda), muestra juego online (izda).....	68
Fig. 54. Muestra de la actividad realizada en Kahoot .....	68
Fig. 55. Mola Structural Kit como herramienta en las clases teóricas .....	70
Fig. 56. Captura clase virtual mediante Google Classroom; aula invertida y ejemplos de contenidos alternativos relacionados con la materia que se incluyen en ella.....	72
Fig. 57. Captura del video de la puesta en carga hasta la rotura de la maqueta realizada .....	73
Fig. 58. Tipos de actividades creadas en Educaplay relacionadas con las Estructuras .....	73
Fig. 59. Museo de Ciencias Emergentes en Japón (izda) y Puente del Lago Dong Ting en China (dcha) equipados con aislantes de movimiento magnetoreológicos .....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Referencias más relevantes del Apartado 1.....	14
Tabla 2. Referencias más relevantes del Apartado 2.....	23
Tabla 3. Extracto de la encuesta realizada al final del concurso.....	25
Tabla 4. Resumen de las Ediciones del Concurso de Estructuras de la UA.....	31
Tabla 5. Tipos de concursos, Universidades y palabras clave.....	35
Tabla 6. Parámetros clasificados por colores según los tipos de concurso.....	39
Tabla 7. Numeración correspondiente a los tipos de concurso de la tabla 6.....	39
Tabla 8. Distinción de criterios observados.....	61
Tabla 9. Parámetros de éxito de los Concursos en las distintas Universidades.....	69

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Se desarrolla el presente trabajo de investigación e innovación docente mediante un estudio y revisión histórica de la actividad denominada; ‘Concurso de Estructuras’ como herramienta de aprendizaje en las asignaturas sobre Cálculo Estructural a nivel Universitario, dentro del marco normativo europeo y atendiendo a las competencias verificadas por la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA).

ANECA, al amparo del [art. 8 de la Ley 15/2014 del 16 septiembre](#), es un Organismo autónomo público unido al Ministerio de Ciencia e Innovación y al Ministerio de Universidades, encargado de realizar las actividades de evaluación, certificación y acreditación del sistema universitario en España para contribuir a la mejora continua de la calidad del sistema de educación superior y su adaptación al Espacio Europeo de educación superior (EEES).

El Concurso de Estructuras de la Universidad de Alicante se encuentra actualmente en su decimonovena edición y forma parte de la [Guía docente de la asignatura de Cálculo de Estructuras I](#) (cod. 16017) del Grado de Arquitectura Técnica. La actividad está dentro de la parte práctica de la asignatura cuya ponderación se encuentra recogida en los instrumentos y criterios de evaluación del Taller Práctico recogidos en la Guía.

Los Concursos de Estructuras tratan de motivar y facilitar el aprendizaje de los conceptos abstractos implícitos en las asignaturas donde se imparten, así como los conocimientos previos adquiridos en otras materias como son; matemáticas, física aplicada, geometría, materiales... Dentro del cálculo estructural y con el fin de que el alumnado comprenda mejor y sea capaz de predecir mediante la intuición los comportamientos estructurales, esta herramienta pretende poner en práctica todos estos conocimientos teóricos adquiridos previamente y durante el proceso, es decir, en el periodo en el que transcurren las asignaturas donde se integra: materializando el aprendizaje en un proyecto tangible. De forma general la actividad consiste en diseñar y construir un prototipo o maqueta según las directrices de la Edición del Concurso correspondiente, con la que posteriormente los participantes interactúan y experimentan los límites estructurales de la misma al someterla a pruebas o ensayos mediante su puesta en carga.

Todo ello no es un tema sencillo y el abordaje del aprendizaje estructural mediante modelos o maquetas que simplifiquen los cálculos y su comprensión no es un problema actual. Como gran ejemplo de ello en cuanto a la experimentación y construcción de maquetas y prototipos que son el modelo físico de la posterior estructura real y dentro de

---

nuestro patrimonio nacional, destacas una de las obras arquitectónicas más icónicas de Barcelona como es; la Sagrada Familia, del arquitecto catalán Antoni **Gaudí** i Cornet, que nace de las maquetas y prototipos de sus diseños mediante cuerdas entretejidas de las que suspendía telas y pequeños sacos rellenos de arena o balines, dichos pesos simulaban las cargas a escala a las que se sometería la futura estructura o construcción, con ellas era capaz de obtener los anti-funiculares de carga complejos y en 3D que hoy en día se realizan mediante soporte informático debido a su complejidad.

La Figura 1 muestra la maqueta de cuerdas y pesos que cuelgan del techo de la vitrina expuesta en el Museo del Templo Expiatorio de la Sagrada Familia a la izquierda, (construida a menor escala bajo la dirección de Frei Otto y Jan Molema), y a la derecha se muestra la imagen real de la construcción de la Sagrada Familia girada 180°, para comprobar la correspondencia visual con la maqueta a escala de su izquierda.



Fig. 1. Maqueta (izda) e imagen de la Sagrada Familia volteada 180° (dcha)<sup>1</sup>

En los años 90, Andrés O. y Ortega N. resolvieron mediante experimentación un problema estructural basándose en los principios de Gaudí y lo denominaron; Homeostasis. Como se muestra en las siguientes imágenes someten a diferentes cargas, mediante pesos, a un material termo-elastoplástico; el Polimetilmetacrilato, que permanece durante un tiempo y unas temperaturas determinadas en un horno y va adoptando una forma determinada, el modelo obtenido se compara posteriormente con los realizados mediante software informático determinando una concordancia aceptable entre ambos, creando así un modelo de la morfogénesis de láminas denominada Técnica del Modelo Homeostático<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> (Agudelo J. , 2013)

<sup>2</sup> (Andrés & Ortega, 1994)

---



A continuación, se muestra la Fig. 2 que incluye una imagen del prototipo justo al terminar el montaje, a la izquierda, y al lado derecho la imagen del mismo prototipo una vez que lo han sometido a dicho proceso de cargas y le han aplicado calor durante el tiempo establecido, mostrando la forma final que ha adoptado el prototipo según la disposición de cargas planteadas.

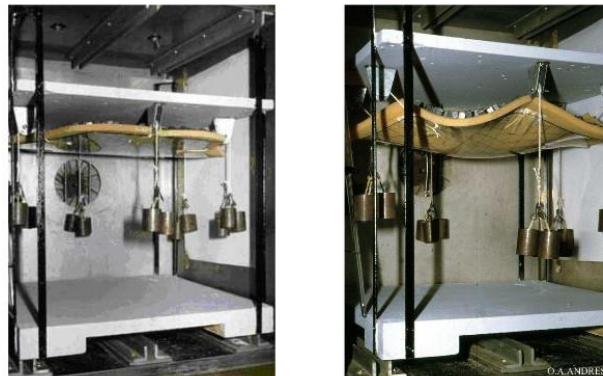


Fig. 2; Imagen del montaje recién terminado (izda) y después de aplicar calor sobre el modelo Homeostático<sup>3</sup> (dcha).

Con la ayuda de estudios posteriores y los avances en cálculo computacional podemos ver la complejidad de los cálculos estructurales y su correspondencia, algunos ejemplos de estos estudios son;

La Tesis Doctoral titulada; “*Análisis resistente de estructuras de obra de fábrica mediante redes funiculares simuladas computacionalmente*” (Andreu, A. 2006), en ella vemos recogida otra de las maquetas de Gaudí para realizar el proyecto de la Iglesia de la Colonia Güell; pg. 101; prototipo de la futura forma de la estructura que trabaja principalmente a compresión y a continuación tenemos como modelo de experimentación pero esta vez con pompas de jabón, al arquitecto alemán Frei Otto para las estructuras a tracción.

Volvemos a ver la maqueta de la Colonia Güell en el Trabajo de investigación de titulado; “*Estudio de elementos de fábrica por superficies antifuniculares*”, donde también se recogen la Tipología y técnica de láminas modernas del ingeniero suizo Heinz Isler para afirmar; ‘*Los métodos para el diseño de formas de cubiertas de Isler, dan una idea del gran potencial que tiene la experimentación física para la obtención de estructuras resistentes*’. (Galafel J. 2011, Pg. 16).

Como se ha adelantado en la Tesis anterior, otro ejemplo de la importancia de la experimentación e investigación viene de la mano de Frei Otto, arquitecto de origen

---

<sup>3</sup> (Bellés, P; 2008)

Alemania con el primer premio póstumo Pritzker<sup>4</sup> Arquitectura en el año 2015, aborda variados temas relacionados con la estructuras de indudable interés con inspiración estructural extraída de la naturaleza, del mundo animal o de las pompas de jabón como se muestra en la Figura 3, para crear grandes construcciones como la que vemos en el Estadio Olímpico de Múnich; Figura 4.

De las pompas de jabón, telas de araña o cráneos de ave al estadio Olímpico de Múnich;

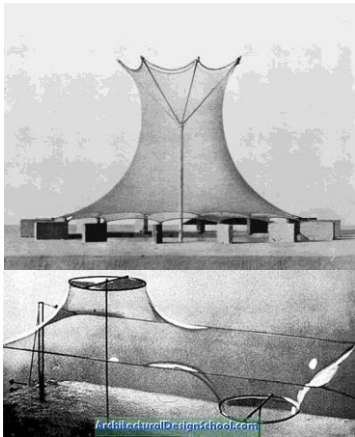


Fig. 3; Experimentos con fibra textil y pompas de jabón de Frei Otto<sup>5</sup>



Fig. 4; Vista aérea Estadio Olímpico de Munich<sup>6</sup>

Frei Otto afirmaba que; "*¡La investigación provechosa debe ser intrépida!*".

De forma muy generalizada se han expuesto construcciones estructurales que trabajan principalmente a compresión en el caso de Gaudí o a tracción con Frei Otto pero en la realidad las construcciones están sometidas tanto a cargas puntuales, como en el diseño de los antifuniculares, como a cargas variables como el viento o la nieve que puedan afectar a las estructuras una vez construidas, plasmando la necesidad de tener en cuenta la geometría de las cargas para evitar problemas en la estructura y su consecuente colapso o derrumbamiento poniendo en peligro incluso la vida de las personas como muestra el Trabajo Final de Máster titulado; "*Estudio de una metodología para transformar cualquier geometría en antifunicular añadiendo cargas externas*"; (Sánchez, A. 2015). En su estudio vemos como se apoya en diferentes programas y aplicaciones informáticas para obtener distintos modelos en cuanto al diseño que favorecen el comportamiento de la estructura contemplando posibles variaciones de la tipología y geometría de las cargas, vemos como experimenta distintas soluciones mediante el apoyo, creación y desarrollo de software con las que obtener distintas variables comparables.

<sup>4</sup> (Del Amo, S; 2020)

<sup>5</sup> (Architecturaldesignschool, s.f.)

<sup>6</sup> (Del Amo, 2020)

Al año siguiente, 2016, la misma E.T.S.I Caminos, Canales y Puertos de la UPM publica la Tesis Doctoral; *“Funicularity and equilibrium for high performance conceptual structural design”*; (Todisco L. 2016), en la que volvemos a ver una nueva imagen de una de las maquetas de Gaudí junto con la maqueta de Isler (Pg. 35) y basándose en ellos crean un software; *“Exoequilibrium”* que distribuyen libremente y en el que se incluyen en el mismo entorno interactivo y paramétrico la variación de la geometría junto al análisis estructural; *“liberando al ingeniero de la limitación del propio cálculo y de la incomprensión del comportamiento estructural”*<sup>7</sup> Para buscar nuevas formas más eficientes (Todisco L. 2016), y cuyos resultados se comprueban con prototipos obteniendo una validación física del procedimiento desarrollado al construir una maqueta de cartón a escala de un pabellón.

Por último, en cuanto a herramientas digitales para el aprendizaje y que tras la pandemia su utilización se ha visto enormemente incrementado su uso, es YouTube, en ella encontramos a Mike Schlaich ingeniero y profesor de ingeniería Civil, director del Departamento de Diseño conceptual y estructural en la Universidad Técnica de Berlín. En la siguiente imagen se muestra como a través de la experimentación con una ‘malla de naranjas’ se buscan los límites de las estructuras para utilizar el mínimo material posible con una mayor sostenibilidad y eficiencia en cuanto al diseño estructural de un puente que proporcionalmente es más fino que una ‘cáscara de huevo’ como explica la arquitecta y ‘YouTuber’; Ter, en uno de sus videos en el que lo entrevista, publicado en marzo del 2020 (Fig. 5) y a la derecha la construcción final; la Pasarela peatonal Trumpf en Ditzingen de la que hablan (Fig. 6) *“una cáscara de doble curvatura construida con chapa de acero inoxidable de 20 mm de espesor aligerada mediante corte láser siguiendo las líneas de máximas tensiones”* (Azpilicueta E. 2020)<sup>8</sup>.



Fig. 5; Captura de YouTube de la entrevista de Ter a Mike Schlaich



Fig. 6; Pasarela peatonal Trumpf

---

<sup>7</sup> (Todisco & Corres, 2017)

<sup>8</sup> (Azpilicueta, 2020)

Como hemos visto encontramos muchos ejemplos de metodologías y herramientas creadas para facilitar la comprensión y el aprendizaje activo en materia de Estructuras y variedad en cuanto a aplicaciones y programas de cálculo y simulación estructural con el ordenador. En esta búsqueda de modelos interactivos encontramos otros ejemplos, pero esta vez palpables y tangibles, en búsqueda de la experimentación y la motivación dando valor a la importancia de la creatividad y la necesidad de crear dichos modelos interactivos que faciliten el aprendizaje y la comprensión de los conocimientos teóricos más abstractos mediante 'juegos didácticos'. Principalmente me gustaría señalar dos, el primero es uno de los Kit de construcción de estructuras más extendido y comercializado; llamado K'NEX que nace en el año 1992 en EEUU y años después (2019), es utilizado en universidades de España en los Concursos de Estructuras, un ejemplo de ello es la escuela Politécnica de Cuenca donde se realiza un concurso de estructuras sismorresistentes con el Kit de construcción K'nex y con la ayuda de una mesa vibratoria simulan el movimiento sísmico para ver el comportamiento estructural de cada prototipo, como encontramos en el [Boletín informativo del Campus de Cuenca](#); al proyecto lo llamaron "Estructuras de Juguete" y fue financiado por la FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología). Otro de los proyectos que realizaron con el mismo Kit pero de más repercusión mediática por su difusión, fue la construcción de un puente por el que pasaron personas para probar la máxima carga estimada que soportaba y que divulgaron a través de la televisión, en el programa de '[El hormiguero 3.0](#)' de Antena 3 TV en el que construyeron un puente con 70.000 piezas en el año 2019.

El segundo Kit que destacar como herramienta de aprendizaje es; (Mola Structural Kit)<sup>9</sup> y se compone de una serie de piezas metálicas tipo muelles, cables e imanes con el que poder construir, diseñar y experimentar el comportamiento estructural. Fue creado para el aprendizaje de los estudiantes de Ingeniería Civil de Brasil y ha traspasado sus fronteras llegando a; *El Instituto Tecnológico de Massachusetts, la École Polytechnique Fédérale de Lausanne o la Universidad Politécnica de Madrid: que son algunas de las universidades que han adoptado el KIT Mola como herramienta de aprendizaje en sus clases*<sup>10</sup>.

En el presente curso, 2020/2021, podemos encontrar un [taller de modelos estructurales](#) dirigido al alumnado de la Escuela Técnica Superior de Edificación y la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Civil de Madrid, en el que se dotará al alumnado participante con

---

<sup>9</sup> (Sequeira, 2008)

<sup>10</sup> (Agudelo J. , 2019)

un Kit Mola Structural para que experimenten en sus propias manos el comportamiento estructural de diferentes sistemas constructivos al someter a cargas reales los prototipos.

Estos son algunos ejemplos de centros educativos y universidades que promueven el conocimiento de las Estructuras mediante concursos y competiciones de este tipo, tanto como con piezas como hemos visto con los Kits mencionados anteriormente o mediante el uso de otro tipo de materiales como madera, cartón, tiza, cobre, acero, papel, pajitas de refresco o incluso pasta alimentaria. Uno de los más conocidos y realizados él; *Spaghetti bridge building competition*<sup>11</sup>, algunos ejemplos de las Ediciones de este tipo de Concurso realizadas en España son las promovidas por el Departamento de Estructuras de Arquitectura de la Universidad de Navarra en el curso 2012-2013, en el que realizaron puentes de espagueti con las siguientes Bases; [Concurso Navarra](#) que podemos encontrar en la [web Campus Navarra](#). En Ediciones posteriores realizan el Concurso, pero esta vez con el diseño y construcción de puentes de madera, cambiando el material en el año 2016<sup>12</sup>.

Otro ejemplo de Ediciones del Concurso de Estructuras con madera en otras universidades españolas lo encontramos en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Valencia donde durante el año 2016 se celebró un Concurso de Puentes realizados con palillos y el ganador del mismo pudo soportar una carga de más de 1500 kg, el cual podemos ver en los [blogs de la Universidad Politécnica de Valencia](#), o la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid en la que realizan el Concurso desde el año 2017 y que podemos consultar a través del siguiente enlace; [Bases Concurso Madrid](#).

Estos son algunos ejemplos de los Concursos de Estructuras realizados a nivel universitario con materiales convencionales, donde los estudiantes adquieren conocimiento sobre las Estructuras de forma distinta a la tradicional y cómo existe aprendizaje tanto de su trabajo propio como de los prototipos realizados por el resto de compañeros y son capaces de aprender tras visualizar las imágenes o las exposiciones de otros proyectos como se afirma tras el siguiente estudio titulado; *‘es posible un entendimiento profundo; estimando el peso y la carga máxima a soportar de diferentes puentes de espagueti*<sup>13</sup>, (Riazi, A. et al. 2020).

En relación a lo expuesto anteriormente también me gustaría destacar el carácter multidisciplinar de los Concursos de Estructuras que recogen el aprendizaje de muchas

---

<sup>11</sup> (Selvi, 2011)

<sup>12</sup> (Solana, 2013)

<sup>13</sup> (Riazi, 2020)



materias asociando conocimientos y transformando dicho aprendizaje abstracto de cálculos, esfuerzos, formas, resistencias, comportamiento de los materiales frente a carga, etc. y materializar todo ello en una estructura tangible, diseñada, creada y construida por los estudiantes y su aprendizaje constructivo, así como la motivación implícita generada por la gamificación y la competición<sup>14</sup> en el ámbito universitario.

En el curso 2019/2020 al realizar el Máster Universitario en Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas en la Facultad de Educación, de la Universidad de Alicante, durante la realización de las prácticas en el Centro de Educación Secundaria correspondiente y de acuerdo con la Tutora responsable del alumnado, he de abordar la docencia del tema de Estructuras de la asignatura de Tecnología. Al observar la metodología utilizada mediante la proyección de los apuntes teóricos y la construcción de un laberinto de madera que era el mismo proyecto año tras año, me decido a cambiar todo ello realizando el Trabajo final de Máster denominado; *“Metodología e innovación docente mediante aula invertida, gamificación y el uso de las tic en educación secundaria; **Building gamer**”*, planteando un Concurso de Estructuras adaptado al alumnado correspondiente.

Por todo ello, unido al recorrido histórico en el que se encuentra el Concurso de Estructuras de la Universidad de Alicante, puesto que se ha realizado durante diecinueve cursos desde el año 2003 hasta el presente año 2021, con diferentes materiales y requisitos que se muestran en profundidad más adelante, me dispongo a realizar el presente Trabajo Final de Grado centrado en su revisión histórica como actividad y herramienta de aprendizaje innovadora, así como su posible mejora.

La siguiente tabla recoge las referencias más relevantes del presente apartado en los que se muestran varios autores en relación con un mismo concepto y ligadas a palabras clave en común.

**Tabla 1. Referencias más relevantes del Apartado 1**

CONCEPTO	REFERENCIAS	PALABRAS CLAVE
Funiculares	(Andrés O.A, Ortega N.F; 1994) (Bellés, P. et. al 2008) (Todisco L. 2016)	Maqueta modelo Interactivo Creatividad

<sup>14</sup> (Kohara, A Study on Timber Structural Education Based on Competition Style, 2008)

CONCEPTO	REFERENCIAS	PALABRAS CLAVE
Antifuniculares	(Galafel J; 2011) (Sánchez, A; 2015)	Experimentación Metodología
Laminares	(Andreu, A; 2006)	Correspondencia computacional
Competición	(Kohara, K. et al 2008) (Paya-Zaforteza I. 2017) (Gómez L. 2020)	Concurso Gamificación Motivación
Prototipos	(Oliveira M. 2008) (Barris, C. et al. 2016) (Riazi, A. et al. 2020)	Comprensión Aprendizaje Diseño

## 2. ESTADO DEL ARTE

Mejorar la tasa de éxito y motivación del alumnado en materias relacionadas con el Cálculo de Estructuras es algo generalizado en todo el territorio nacional. Las demandas más comunes por parte del alumnado se recogen en cuatro categorías extraídas de los resultados de la Tesis; “*Diseño y evaluación de un programa para el aprendizaje de Estructuras de Edificación mediante Aprendizaje basado en problemas*<sup>15</sup>” (Justo E, 2013), en ella se recogen las necesidades que expresa el alumnado para mejorar la tasa de asistencia a las asignaturas de Estructuras junto a la de Física aplicada;

*Las más repetidas se pueden clasificar en cuatro categorías:*

- *Metodologías activas de aprendizaje*
- *Enfoque práctico de la docencia*
- *Implicación y actitud del profesorado*
- *Grupos más pequeños, con espacios adecuados*

A continuación, se muestra el último estudio de la tasa de éxito de la asignatura de Estructuras 1 (ST1) del Grado de Fundamentos de Arquitectura de la UA donde es la única que muestra una trayectoria ascendente en el último periodo evaluado, de los cursos que tienen lugar desde el año 2015 al 2019, que encontramos publicado en la pág. 541 de **Redes de Investigación e Innovación en Docencia Universitaria**. Volumen 2020<sup>16</sup>. Aun así, como muestra la imagen extraída, a pesar de la trayectoria ascendente sigue siendo la que menor tasa de éxito tiene.

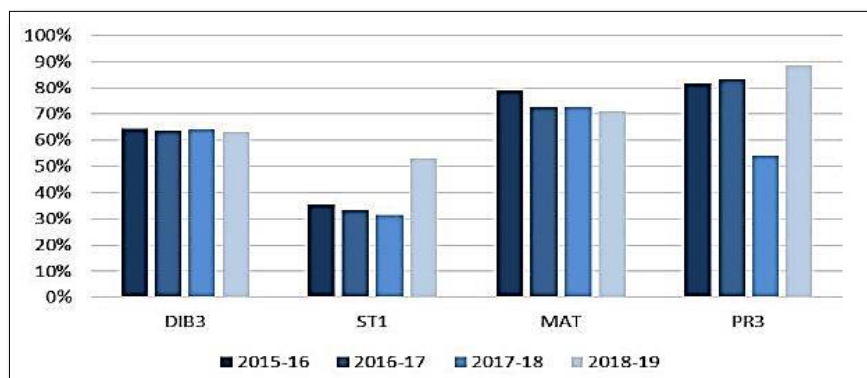


Fig. 7. Tasa de éxito asignaturas del segundo semestre del 2º Curso del Grado de Fundamentos de la Arquitectura. ST1; Estructuras I (35518) Universidad de Alicante<sup>17</sup>

<sup>15</sup> (De Justo, 2013)

<sup>16</sup> (Roig-Vila R. , Redes de Investigación e Innovación en Docencia Universitaria, 2020)

<sup>17</sup> (Roig-Vila R. , Redes ICE Universidad de Alicante, 2020)



Poniendo el foco en la asignatura de Cálculo de Estructuras I (16017) del GAT de la Universidad de Alicante a continuación se muestran los datos obtenidos del Estudio, seguimiento y acciones de mejora en la calidad de la docencia del curso 2 del Grado en Arquitectura Técnica<sup>18</sup> se extraen los datos de aprobados en la asignatura correspondientes al curso 2018/19, con los datos se crea la Fig.8 que incluye dos gráficos circulares que muestran a simple vista la proporción que existe entre el número de estudiantes que se matriculan en la asignatura de Cálculo de Estructuras y los que finalmente consiguen superar la materia (izda.) y a su lado dcho. se muestra la proporción de alumnado que se presenta a la evaluación y de ellos los que finalmente aprueban.

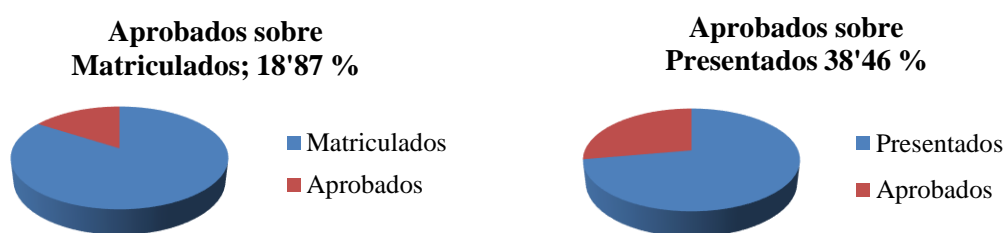


Fig.8; Alumnos Aprobados frente a Matriculados y Presentados de la asignatura de Cálculo de Estructuras I (16017) del Grado de Arquitectura Técnica de la UA curso 2018/19.

El Concurso de Estructuras de la Universidad de Alicante se consolida como una herramienta útil en el aprendizaje de la asignatura como vemos publicado en Redes-I3CE, pg. 186; 2019. El primer Concurso data del curso realizado en el año 2002/2003, “*el profesorado decide implantarlo después de una serie de reclamaciones por parte del alumnado donde expresaban su disconformidad debido al bajo índice de aprobados*” (Pomares, J.C; Irles, R; ACHE. 2013).

Desde entonces el Concurso de Estructuras está dirigido principalmente al alumnado de los grados universitarios de ingeniería y arquitectura en las asignaturas relacionadas con el Cálculo estructural e incluso en alguna edición se ha dejado abierta la participación al alumnado de educación Secundaria y/o de otras Universidades, así como se estudia su posible integración en el resto de la comunidad universitaria de la UA.

En la siguiente imagen (Fig. 9) se muestra el encerado de la clase de teoría de la asignatura de Cálculo de Estructuras I (16017), en ella vemos como se suceden cálculos matemáticos en función de las cargas y la forma de las estructuras, que se plasman con

<sup>18</sup> (Pomares, Memorias del Programa de Redes-I3CE de calidad, innovación e investigación en docencia universitaria, Convocatoria 2018/19)

diagramas de esfuerzos y finalmente la pizarra queda pequeña a pesar de su envergadura, ello nos da una idea de la complejidad de la materia.

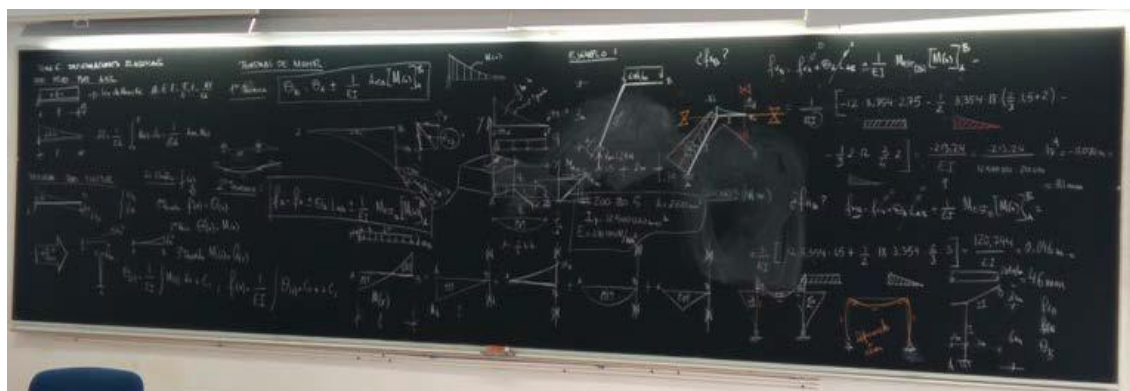


Fig.9. Clase de Teoría de Cálculo de Estructuras I GAT; (ACHE, 2013) <sup>19</sup>

Los Concursos de Estructuras rompen la tradición de las clases magistrales y proporcionan el aprendizaje y los conocimientos de forma distinta fomentando la creatividad, motivación, el interés y la comprensión del comportamiento y los cálculos de las estructuras.

Todo ello necesita de un trabajo previo, constante y continuado en el tiempo para alcanzar con éxito los objetivos previstos mediante esta herramienta o actividad de aprendizaje, tanto por parte del alumnado como por el profesorado.

Durante las seis primeras ediciones del Concurso de Estructuras que tuvieron lugar desde el año 2002 al 2008; el promedio de participantes fue de diez. Las seis ediciones siguientes que se realizaron desde el año 2008 al 2014; el promedio fue de cinco participantes. Bajó a dos, en las cinco ediciones siguientes, realizadas desde el 2014 al 2019.

En el curso durante el periodo del año 2019 al 2020 y el actual del 2020 al 2021, el promedio fue de cincuenta y de setenta participantes respectivamente. Para observar la participación de una forma más clara se crea un gráfico (Fig. 10) con los datos proporcionados por el profesorado de la asignatura Cálculo de Estructuras I, cód.; 16017 del Grado de Arquitectura Técnica de la Universidad de Alicante; Pomares Torres, JC. Desde la implementación del Concurso hasta la Edición XVII éste se realizaba y resolvía de manera presencial, pero las dos últimas ediciones se han resuelto de forma No presencial por la situación pandémica en España debida al Covi-19 desde marzo del 2020, a pesar de

<sup>19</sup> (Pomares, 2013)

ello la gráfica muestra como el número de participantes en las dos últimas ediciones ha sido muy superior de forma significativa y ello se debe a que la actividad pasó a formar parte de la guía docente de la asignatura en dicho periodo, por lo que actualmente es una herramienta práctica de acuerdo a los requisitos exigidos por ANECA favoreciendo la adquisición de las competencias de la asignatura como vimos en el primer punto.

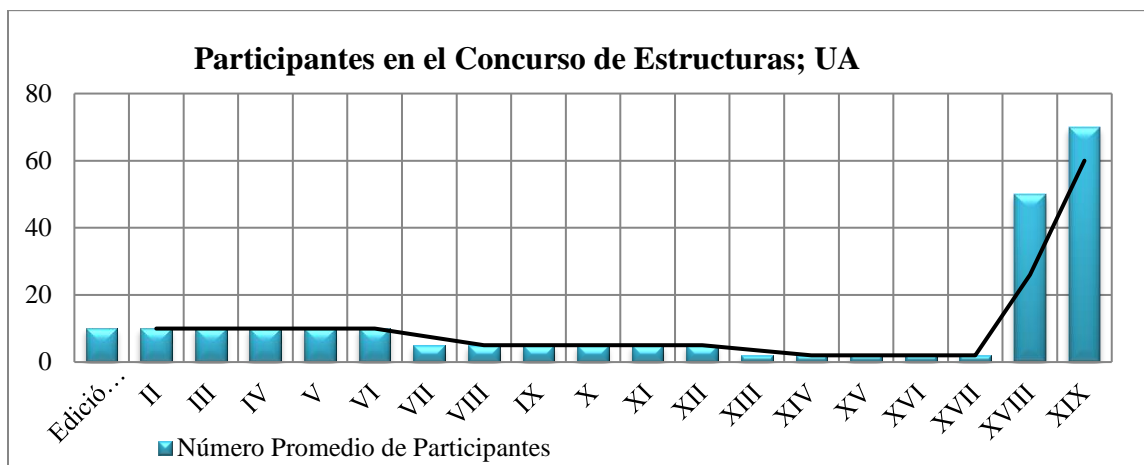


Fig. 10. Gráfico del Promedio de Participantes por Edición

De forma general a continuación veremos las etapas o Fases del Concurso que el alumnado ha de ir superando durante la realización de la actividad, se exponen algunos ejemplos que han sido realizados por los participantes en ediciones anteriores;

Fase 1; Diseño de la estructura; los participantes realizan los bocetos, borradores y los primeros diseños de sus prototipos mediante medios manuales o software informático a elección de los estudiantes y según sus preferencias.

Fase 2; Análisis del diseño de la estructura, atendiendo a los conocimientos adquiridos y al aprendizaje a través de las clases de teoría sobre el comportamiento de las estructuras y los cálculos estructurales mediante la obtención de las leyes de esfuerzo, desplazamientos, centros de gravedad, cargas, fuerzas de acción, resistencia y elasticidad dependiendo del tipo, características y propiedades de los materiales establecidos. El alumnado participante analiza la estructura que ha proyectado con el fin de valorar si existen errores previos en su diseño y por lo tanto poder corregirlos antes de su construcción, con el objetivo de mejorar su estabilidad y el comportamiento resistente de la misma.

Siguiendo las premisas y directrices de la Edición de cada Concurso publicadas anualmente en la sección de noticias de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad de Alicante, junto al análisis de la fase anterior y de los bocetos de los primeros diseños

realizados, los participantes proceden a ejecutar la construcción de sus maquetas y prototipos, lo que da lugar a la Fase 3; durante la misma los participantes realizan las maquetas a escala de una posible futura estructura real. Además, en su experimentación y construcción, los estudiantes se enfrentan a los problemas que surgen durante el proceso constructivo o de cuestiones no previstas hasta dicho proceso.

Después de construir las maquetas y con el fin de su divulgación para favorecer el aprendizaje entre participantes encontramos la Fase 4, en ella se realizan las exposiciones y presentaciones de las maquetas, explicando el diseño que finalmente han construido, así como el proceso constructivo del mismo. Para ello en las ediciones no presenciales (Ediciones XVIII y XIX) derivadas de la situación de emergencia sanitaria por el covid-19 desde marzo del año 2020, se realizan mediante videos grabados de dos minutos junto con aplicaciones como Google Meet para las reuniones online y la plataforma universitaria UACloud.

La Fase final 5 está dedicada a los ensayos de rotura, sometiendo a cada prototipo a una prueba de carga que se realizaba hasta los cursos afectados por la pandemia en el laboratorio de la universidad de Alicante, en la cual se medía la carga máxima que eran capaces de soportar y se penalizaba el peso excesivo de las maquetas.

Al prescindir de la visita, medios y maquinaria de los que se disponen en el laboratorio de ingeniería civil de la Universidad de Alicante para el ensayo de rotura y la puesta en carga de las maquetas, ya no se penaliza el peso excesivo, por lo que en las dos últimas Ediciones se han variado las premisas a los que se someterán las maquetas para que los estudiantes puedan realizarlo en sus domicilios ellos mismos.

A lo largo de las distintas Ediciones del Concurso de Estructuras realizadas en la Universidad de Alicante vemos como se han ido variando las directrices al cambiar los materiales y/o variando la forma y/o las dimensiones de las estructuras o el tipo y lugar donde se sitúa la carga, etc.

A continuación, veremos un extracto de las últimas ediciones del Concurso de Estructuras de la Universidad de Alicante:

En el XIII Concurso de Estructuras del Curso 2014/2015, las maquetas debían realizarse con tiza, en dicha Edición se dejó abierta la inscripción al alumnado de Secundaria de otros centros educativos.

En la siguiente Edición correspondiente al XIV Concurso de Estructuras del Curso 2015/16, los estudiantes debían realizar sus prototipos con palillos de madera, consigue el

---

primer premio la estructura de la Figura 11 capaz de resistir más de 48 kg, el equivalente a 42 veces su peso.

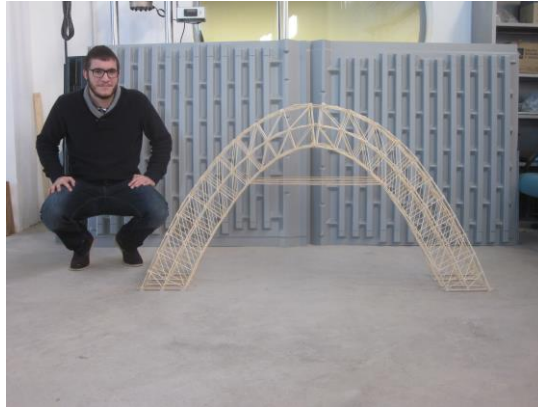


Fig. 11. Primer puesto de la Edición XIV del Concurso de Estructuras

Durante la XV Edición del Concurso de Estructuras correspondiente al curso 2016/2017, el primer premio fue para una estructura realizada con palos de helado capaz de resistir más de 170 kg; correspondiente a 100 veces su peso.

En la XVI Edición del Concurso de Estructuras realizado durante el curso 2017/2018 el primer premio se otorgó a un diseño capaz de resistir una carga puntual de 380 kg; 148 veces su peso propio.

En la XVII Edición del Concurso de Estructuras el material de las estructuras cambia a pasta de espagueti y el primer puesto es para el prototipo capaz de soportar una carga puntual de 35,4 kg (Fig. 12).



Fig. 12. Primer puesto de la Edición XVII del Concurso de Estructuras

La XVIII Edición del Concurso de Estructuras se realizó durante el curso 2019/2020, durante el trasiego de este las premisas previas se cambiaron debido al covid-19, las maquetas y prototipos debían realizarse de forma individual en vez de grupos de máximo dos personas como era habitual hasta ese momento y se cambió el material que en un principio era madera por folios de papel, para que los participantes pudiesen realizarlo desde casa. La siguiente figura recoge tres imágenes de las estructuras realizadas con papel que se presentaron en la decimoctava edición.



Fig.13. Prototipos de la Edición XVIII del Concurso de Estructuras

En el presente curso 2020/2021 el Concurso de Estructuras se encuentra en su XIX Edición, al igual que el año anterior su realización será individual y No presencial, el material a utilizar son folios de papel (DIN A4 de 80 gr.). La maqueta de la estructura será libre en cuanto a diseño, forma, uniones y tipología que se dejan a elección del alumnado.

Las estructuras de los participantes se cargan exteriormente en el extremo del voladizo y deben de ser capaces de soportar tres kilogramos fuerza en dicho punto. Se valorará siguiendo los criterios de la guía docente de las asignaturas en las que se encuentra incluida en su Taller Práctico u obtendrán 1 punto extra en la asignatura donde esta actividad sea extraordinaria.

Como hemos visto en el apartado anterior las maquetas han sido de gran utilidad y lo siguen siendo siglos después como herramienta de aprendizaje en el campo de las estructuras y como se han utilizado en proceso de verificación de los resultados obtenidos mediante software informático. Si bien es cierto que actualmente la adquisición de las competencias digitales son indispensables para el futuro profesional tanto en el campo de ingeniería como en el de arquitectura con los que realizar modelos tridimensionales en el ordenador de las estructuras y construcciones, mediante el uso del ordenador o las aplicaciones digitales los estudiantes obtienen información principalmente visual y por ello no podemos prescindir de las maquetas y prototipos físicos que permitan la experimentación e interacción con la materia, obteniendo un *'feedback'* *"del peso, las texturas, las propiedades de los*

*materiales... Explorando sus características, siendo consciente de los procedimientos constructivos. Hay una mayor proximidad a la vivencia y al entendimiento de una obra en este ejercicio táctil y visual de modelar con las manos la masa y el vacío. Elaborar maquetas no es solo construir un modelo a escala; sino el símil de una experiencia que comporta la apreciación plástica, el encaje funcional y la solución técnica de una obra arquitectónica<sup>20</sup>*. (Sarmiento J.A; 2017)

Al igual que en el apartado se ha creado una tabla que muestra las referencias más relevantes recogidas en este apartado para su desarrollo ligadas a un concepto o fuente de información en común, así como las palabras clave relacionadas con dichos conceptos y referencias.

**Tabla 2.** Referencias más relevantes del Apartado 2

CONCEPTO	REFERENCIAS	PALABRAS CLAVE
Imágenes UA	Noticias UA, EPSA y DIC Tutor Pomares, JC	Metodología Participación
Aprendizaje y motivación	(De Justo, E. 2013) (Pomares, J.C. et al. 2013. 2016) (Sarmiento, J.A. 2017)	Implicación Innovación Experimentación
Innovación y Resultados	(Pomares, J.C. et al. 2019) (Roig-Vila, R. 2020) (Redes ICE 2020)	Integración Competencias Tasas de éxito

<sup>20</sup> (Sarmiento, 2017)



### 3. OBJETIVOS

Con el presente trabajo se pretende evaluar esta herramienta como modelo de cambio en la metodología, pues el alumno pasa a ser sujeto activo en el proceso de aprendizaje. Veremos si la actividad sirve como motor de la motivación y conexión con la comprensión de los modelos y cálculos teóricos.

*Los concursos en el campo de la Arquitectura era una práctica muy extendida como herramienta para el aprendizaje cooperativo y colaborativo<sup>21</sup> familiarizando a los participantes con sus futuras profesiones técnicas. Desde el estado de Alarma decretado en España en marzo del 2020 muchos de estos concursos fueron cancelados y otros han sido capaces de reinventarse por lo que veremos cuáles son las bases y condiciones que han de cambiar para que los Concursos puedan seguir realizándose con el mismo propósito.*

Los participantes han de asumir diferentes roles y realizan comparativas de los resultados obtenidos por otros participantes e integran el aprendizaje de otras materias como materiales, física aplicada o geometría, ahora las clases prácticas y prototipos han de ser individuales por lo que se valora cómo afecta la nueva situación a todos estos aspectos.

Con las encuestas al alumnado se pretende aumentar el grado de satisfacción con esta actividad y herramienta de aprendizaje junto la tasa de éxito de la asignatura, es decir, aumentar el número de estudiantes que superan la asignatura respecto al número de presentados. *La motivación y las tasas de éxito en materias de Cálculo de Estructuras son de las más bajas en las universidades españolas<sup>22</sup>. El cálculo y análisis de las estructuras con el fin de determinar su comportamiento estático y dinámico es un proceso complejo especialmente cuando se realiza a mano, por ello el ordenador y los programas de cálculo han ido ganando peso y protagonismo en el ámbito de la docencia universitaria, “lo cual no implica una mejora en el diseño conceptual o en el reconocimiento de patrones estructurales sin la dedicación necesaria para la comprobación, verificación y contraste de los resultados obtenidos” (Johnson & May 2008).*

Con relación a lo expuesto se valorará como el ‘Concurso de Estructuras’ es un apoyo y una herramienta de aprendizaje que ayuda en el proceso de adquirir y aplicar conjuntamente distintos conocimientos y por lo tanto su posible incidencia en la mejora de competencias, así como la relación e influencia en un incremento positivo de las tasas de éxito en las asignaturas donde se realiza.

---

<sup>21</sup> (Pérez, 2020)

<sup>22</sup> (Álvarez, 2020)



Al finalizar la Edición del Concurso de Estructuras el profesorado de las asignaturas donde la actividad se encuentra incluida realiza una encuesta al alumnado correspondiente, donde se valora mediante escala Likert el grado de desacuerdo o acuerdo y se realizan cuestiones sobre.

**Tabla 3.** Extracto de la encuesta realizada al final del concurso

<i>Bases del concurso claras y fáciles de entender.</i>
<i>Bibliografía y materiales recomendados útiles.</i>
<i>El grado de afinidad entre el Concurso y la asignatura de Cálculo de Estructuras</i>
<i>Si la actividad consigue despertar el interés y mejorar el aprendizaje por la asignatura.</i>
<i>Criterios de evaluación claros y adecuados.</i>
<i>Si con la actividad han conseguido mejorar las <u>competencias</u> de la asignatura.</i>
<i>Información y difusión del Concurso adecuadas.</i>
<i>Si consideran que los premios son correctos.</i>
<i>Si encuentran la información valiosa para su formación universitaria.</i>
<i>Si las horas de estudio y de trabajo son adecuados con el retorno obtenido de estas.</i>
<i>Mejora de aspectos como la expresión, el uso de información, su capacidad crítica...</i>
<i>Grado de satisfacción; Diferentes formas de aprender y ver las cosas.</i>
<i>Si con la actividad han de aplicar lo aprendido en clase y aprender a afrontar problemas.</i>
<i>Si consideran que el grado de esfuerzo es mayor en esta asignatura que en otras.</i>
<i>Y si finalmente consigue aumentar el interés por la materia.</i>

A continuación, se muestra el resultado de las encuestas por parte de los participantes del Concurso de Estructuras de la Universidad de Alicante durante el curso 2019/2020<sup>23</sup> extraída de Redes-I3CE UA;

Los aspectos que han obtenido la valoración baja, igual o superior a 3,4, en la escala Likert de satisfacción (del 1 al 5) son los siguientes:

- 1) La bibliografía y otros materiales recomendados me han resultado útiles
- 2) La información y difusión de esta actividad docente es adecuada.
- 3) La actividad realizada me ha servido para mejorar mi preparación general en aspectos como, por ejemplo: expresión (oral y escrita), trabajo en equipo, uso de la información, capacidad crítica, etc.
- 4) Esta actividad me lleva a afrontar problemas que suponen un reto para mí.

<sup>23</sup> (Roig-Vila R. e., 2019/20)

5) He dedicado más esfuerzo a esta asignatura que a otras.

Se muestra de forma gráfica cuales son dichos puntos débiles extraídos de las peores valoraciones obtenidas en las encuestas a los participantes de la última edición realizada, para posteriormente poder enfocarnos en ellos de manera más específica con el fin de aportar posibles mejoras o soluciones.

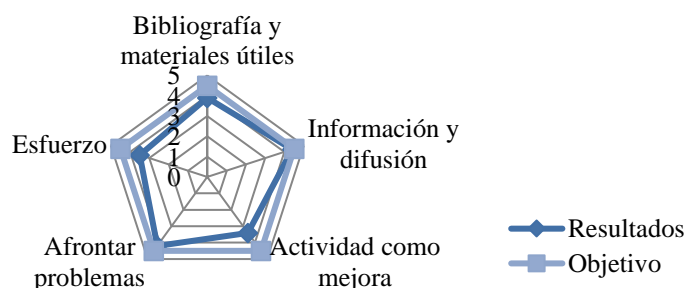


Fig. 14. Resultados de las encuestas de la Edición XVIII UA.

Con el presente trabajo se tendrán en cuenta los resultados de la Edición anterior, así como los resultados de las herramientas que se crean en durante el transcurso del trabajo y de la presente Edición.

Se recogerán opiniones, ideas, críticas, problemáticas asociadas y sugerencias por parte de los participantes, que mejoren la actividad como herramienta de motivación y aprendizaje, para ello se realizarán actividades que se plasman en la metodología y se desarrollan en los apartados siguientes.

## 4. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología para desarrollar el presente trabajo, el primer paso es realizar una investigación y reunir la información histórica relacionada, así como su evolución en cuanto a la utilización de maquetas y como se van introduciendo en el ámbito de la docencia como herramienta de aprendizaje, para ello se recurre a diferentes fuentes como son;

- RUA, Mendeley, Dialnet en cuanto a tesis, congresos, revistas, trabajos, libros.
- LIBROS; Biblioteca UA se realizan consultas de los libros relacionados de la Guía docente de la asignatura como son;

Mecánica para ingenieros: estática. (Vázquez, 1988)

Estructuras o por qué las cosas no se caen; (Gordon, 2015)

Razón y ser de los tipos estructurales. (Torroja, 2007)

Números gordos. (Arroyo, 2018)

- Redes ICE, búsqueda de información, fuentes relacionadas, datos docencia a nivel universitario y participación mediante publicación oral en Xarxes Innovaestic 2021.
- Blogs, YouTube, Facebook, Internet en general en búsqueda de videos y publicaciones para posteriormente recurrir a las fuentes oficiales.

Una vez reunida toda la información, se trata de sintetizar la misma y destacar lo más relevante desde el origen hasta la actualidad en el ámbito global y concretamente en el campo de las maquetas y los concursos estructurales a nivel universitario, posteriormente y una vez plasmado este recorrido que ofrece una visión general, se procede a estudiar los resultados más específicos obtenidos de las Ediciones del Concurso de Estructuras de la Universidad de Alicante.

Además de los puntos débiles señalados por los participantes de la XVIII Edición del Concurso señalados en el apdo. 3, se estudian las diferentes Ediciones que se han realizado en la Universidad de Alicante, así como Concursos de Estructuras que se realizan en universidades de todo el mundo, con el fin de realizar una comparativa que determine qué factores influyen en su aceptación, éxito y mejores valoraciones.

Para realmente tener una percepción práctica y experimental, durante el desarrollo del trabajo, se ejecuta la estructura propuesta en la XIX Edición del Concurso de Estructuras de la UA ajustado a las bases establecidas, además se realiza el mismo prototipo o similar con el Kit Mola Structural, así como su análisis y estudio software con el fin de analizar distintas alternativas Apdo. 7.

Se plantea una encuesta previa y otra al final del concurso con cuestiones relacionadas, ideas y valoraciones que se analizarán y tendrán en cuenta en el presente trabajo. Se crea y expone una presentación sobre la Edición XIX y se crea una vía de comunicación con el fin de que el alumnado participe y pueda expresar sus necesidades y consultas relacionadas telemáticamente y cuyos resultados se desarrollan en el Apdo. 8

Todo ello se analiza, estudia, experimenta y desarrolla en los apartados mencionados y los resultados servirán para llegar a unas conclusiones concretas con los datos recogidos ofreciendo posibilidades de innovación de acuerdo con las necesidades detectadas previamente y durante el proceso.

Durante el desarrollo del presente trabajo y gracias a la información, apoyo y supervisión por parte del tutor me anima y ofrece participar en las Jornadas de Redes de Investigación en Docencia Universitaria. [REDES 2021; IV Workshop](#) Internacional de Innovación en Enseñanza Superior y TIC- INNOVAESTIC 2021 de la Universidad de Alicante. Para ello he de realizar una inscripción, un resumen que ha de ser aceptado y una comunicación oral que se expondrá online los días del 10 al 16 de junio de 2021 mediante una presentación narrada con voz en off de 5 minutos de duración.

*Bajo el lema "Nuevos retos educativos en la enseñanza superior frente al desafío COVID-19", REDES-INNOVAESTIC 2021, durante unos días permite que docentes y profesionales vinculados a la Enseñanza Superior puedan compartir experiencias, debatir e intercambiar puntos de vista, con el objetivo de mejorar la calidad educativa. Una oportunidad de participar con el presente trabajo y obtener un feedback personal (Gómez, 2021) de esta herramienta docente.*

Una vez finalizado el XIX Concurso de Estructuras, se crean actividades educativas relacionadas mediante aplicaciones como Educaplay y Kahoot que sirvan de apoyo, estímulo y ejemplo de los Concursos de estructuras.

Por último, se señalan puntos, parámetros o consideraciones observadas que mejoren la actividad como herramienta de aprendizaje y se proponen futuras líneas de investigación relacionadas con el presente trabajo.

---

## 5. TIPOS DE CONCURSOS UNIVERSITARIOS

### 5.1. ÁMBITO NACIONAL

Uno de los concursos más extendidos, son los Concursos de Estructuras de pasta de sémola, gozan de cierta popularidad en decenas de universidades e institutos en el mundo, y comenzaron en los años ochenta del XX ([Vázquez M. 14/15](#)). Otra de las universidades españolas que se ha mencionado previamente es la Universidad Politécnica de Madrid en la que se han realizado talleres experimentales en el grado en Fundamentos de la Arquitectura mediante la experimentación con spaghetti durante el curso 14/15 y posteriores ediciones que podemos consultar en la web de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos<sup>24</sup>, al consultar que pasó durante los cursos afectados por la pandemia telefónicamente el 09/03/2021, me informan de que las ediciones han sido canceladas, pero podemos encontrar un [taller](#) de modelos estructurales en los que los participantes generan varios prototipos, pero esta vez con el Kit Mola Structural.

Con el objetivo de obtener más información de la realización o no de dichos talleres y concursos me pongo en contacto mediante teléfono y correo electrónico enviado el 08/03/2021 pero desafortunadamente no he recibido respuesta a día 01/06/2021.

En cuanto a la antigüedad de la experimentación en el campo de las estructuras en la Universidad de Madrid destaca Pippard, que en 1947 ya detalla un laboratorio práctico para experimentar físicamente los conocimientos teóricos en el campo de las estructuras y organiza un experimento ligado al tema por semana. En la siguiente imagen se muestran algunos de los modelos físicos que utilizaba en las clases prácticas.

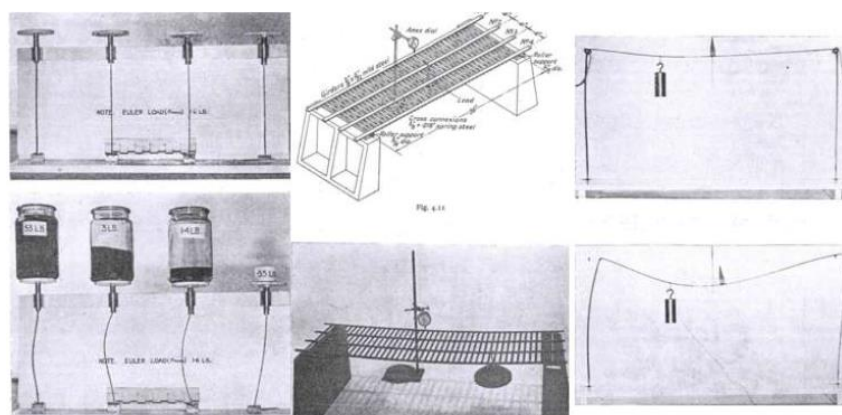


Fig.15. Muestra de prototipos que diseña Pippard para sus clases<sup>25</sup>

<sup>24</sup> (upm.es, 2017/18)

<sup>25</sup> (Antuña, 2019)

Se encuentran más ejemplos de talleres relacionados con las estructuras en las siguientes direcciones electrónicas consultadas por última vez el 27/04/2021;

- <https://blogs.upm.es/dcyrep/inicio/>
- <http://habitat.aq.upm.es/gi/mve/mmcyte/>
- <http://habitat.aq.upm.es/gi/mve/mmcyte/tfg-mvideira-defensa-texto.pdf>

Otra Universidad analizada es la Universidad Miguel Hernández de Elche (UMH), en ella la iniciativa del Concurso nace de la Delegación de Estudiantes de la Escuela Politécnica Superior. Antes de la emergencia sanitaria, es decir, durante el curso 2018/2019 realizaron su XVI Edición, en la página web creada para ello se obtiene información de ediciones anteriores; [http://concursodepuentes.umh.es/\(27/04/21\)](http://concursodepuentes.umh.es/(27/04/21)).

El concurso de la UMH recibe con un gran número de inscripciones y popularidad por parte del alumnado en general, no solo de las carreras técnicas donde se imparten asignaturas relacionadas con estructuras sino de toda la comunidad universitaria. Además de contar con varias categorías (Peso, movilidad y estética) abiertas bajo inscripción a todo el alumnado de nivel universitario de la provincia, en su última edición también se dispone de una categoría de peso abierta al alumnado de secundaria y otra categoría de nivel universitario a la mejor fotografía. Las tres categorías principales se dotan de tres premios económicos que van desde los 150 euros hasta los 900. Todo ello hace muy atractivo participar en el concurso de Puentes de la UMH en el que, además, el día de la entrega de premios del Concurso se complementa con una Feria tecnológica donde se dispone de una zona donde se realizan charlas relacionadas con la Ingeniería y en otra donde se dispone de un espacio de ocio y descanso acompañado de música con un DJ y zona gastronómica mediante food trucks<sup>26</sup>.

Al realizar la inscripción y remuneración económica se dota a los participantes con 3500 palillos de helado para ejecutar sus prototipos como se indica en las [bases](#). El 23/03/21 contacto con el delegado de la UMH y me informa sobre la cancelación del concurso desde el curso 2019/2020 debido a la situación sanitaria y que el presente curso 2020/2021 tampoco se va a realizar.

Otra de las universidades a destacar que celebró su III Edición del Concurso de Puentes en el año 2019 es la Universidad de Cantabria donde se distinguen dos categorías la de Puente Resistente y la de Puente Móvil donde se establecen la altura mínima, 30 cm, y un ancho entre 80 y 100 cm dejando abierta la elección del material a utilizar entre los siguientes; papel, cartón, hilo, alambre o palitos de madera. La edición del año 2020

---

<sup>26</sup> (Almodóvar, 2018)

programada para el 27/03/2020 tuvo que ser cancelada, el presente curso se organizó para que los participantes puedan realizarlo virtualmente mediante un programa de código libre ‘Bridge Designer’ recibiendo una participación de 100 estudiantes y 68 diseños distintos de puentes<sup>27</sup>

A nivel nacional por su perdurabilidad, evolución y establecimiento como herramienta de aprendizaje, que actualmente continúa celebrándose es el ‘Concurso de Estructuras’ de la Universidad de Alicante, que como se menciona anteriormente se encuentra en su XIX Edición. En cada una de las ediciones se han ido variando los requisitos como son; los materiales a utilizar, las medidas o incluso la tipología de la estructura. Para mostrar dichos cambios se ha creado una tabla resumen de las ediciones realizadas donde se recoge el material de la estructura, las dimensiones mínimas del hueco que ha de contener en su interior (Eje X e Y en centímetros) y el curso en el que tuvo lugar dicha edición.

**Tabla 4.** Resumen de las Ediciones del Concurso de Estructuras de la UA

EDICIÓN	MATERIAL	CONDICIONANTES GEOMÉTRICOS	CURSO
<b>XIX XVIII</b>	Papel DIN A4 80 gr.	60 * 30 cm.	2020/2021 2019/2020
<b>XVII</b>	Pasta de espagueti	80 * 40 cm	2018/2019
<b>XVI</b>	Palos de madera para helado		2017/2018
<b>XV</b>	Palillos de madera		2016/2017
<b>XIV</b>	Palos de helado		2015/2016
<b>XIII</b>	Tiza 15 mm. Ø		2014/2015
<b>XII</b>	Varillas de aluminio del corte de las latas de refresco. máx 15mm		2013/2014
<b>XI X</b>	Varilla de acero corrugado o lisa máx. 6 mm. Ø		2012/2013 2011/2012
<b>IX</b>	Cañas de plástico de refresco	60 * 30 cm	2010/2011
<b>VIII</b>	Varilla de acero corrugado o lisa máx. 3 mm. Ø		2009/2010
<b>VII</b>	Alambre de acero diámetro máx. 1’5 mm. Ø		2008/2009
<b>VI</b>	Cable conductor de cobre desnudo de 1’5 mm Ø		2007/2008

<sup>27</sup> (Caminos, 2021)

Debido a la situación sanitaria durante las dos últimas ediciones, el concurso se ha adaptado para que el alumnado participante lo pueda hacer telemáticamente y sin necesidad de asistencia presencial hasta que la situación sanitaria lo permita.

Respecto a la edición anterior se ha variado la forma de la estructura a realizar, así como la ubicación de la carga puntual que ahora ha de situarse en el extremo del voladizo. Todo ello se estudia en más en detalle en el apartado 7.1.

## 5.2. ÁMBITO INTERNACIONAL

A nivel internacional los concursos de puentes de espagueti nacen en los años 80 y en 1984 se establecen como un evento anual de competición entre distintas universidades, como ejemplo encontramos; *Okanagan College* en Budapest, en su concurso conocido como; '*World Championship in Spaghetti Building*' en el que participaban estudiantes de otras universidades y países como; Canadá, Holanda, Irán y Hungría. Durante el curso 2020 suspendieron la que sería su XXXVIII Edición y prevén su vuelta para el año 2022<sup>28</sup>.

Otro de los Concurso de Estructuras organizado por alumnos, en este caso de Ingeniería Civil, es el de la UTFSM (Méjico), el cual se inicia el año 1998, acontecimiento donde se encuentran y compiten alumnos de Ingeniería de distintas Universidades a nivel nacional, en el que realizaban maquetas de madera, organizando un evento con entrega de premios y música, finalmente cancelado tras la situación de emergencia sanitaria<sup>29</sup>.

Además de las propuestas anteriores, otra de las ediciones a destacar a nivel Internacional, es el Concurso de Puentes de Acero; '*The Steel bridge Competition*', en que participan y se reúnen estudiantes a nivel global como son; la Universidad panamericana, el École de technologie supérieure (ÉTS), la University of British Colombia (UBC), ambas de Canadá; la Universidad Nacional Autónoma de Méjico (UNAM); la University of Puerto Rico, Mayagüez, Campus en Estados Unidos y la Hohai University de Nanjing, China<sup>30</sup>, en el que presentaban prototipos realizados en acero y que ha sido cancelado al igual que el anterior.

Una de las ediciones que sigue celebrándose, es la organizada por el Instituto Americano de Construcción de Acero (AISC), con sede en Chicago, tras la pandemia ha cambiado sus bases para que pueda seguir realizándose de manera telemática<sup>31</sup>,

---

<sup>28</sup> (Lowry, 2021)

<sup>29</sup> (UTFSM, 2019)

<sup>30</sup> (Zapopan, 2019)

<sup>31</sup> (Buhman, 2020)



anteriormente y de forma física los equipos participantes realizaban las maquetas con acero y actualmente lo han resuelto de forma virtual. Es posible consultar las bases en su web<sup>32</sup>.

Como ejemplo de aprendizaje basado en la construcción de diferentes estructuras encontramos en Estudio realizado en Japón; (Kohara, A Study on Timber Structural Education Based on Competition Style, 2008)<sup>33</sup>, en el cual se realizan tres campeonatos distintos según avanza en los conocimientos adquiridos: el primero se trata de construir columnas de papel que se someten a una prueba de carga, en el segundo el alumnado realiza puentes de espagueti y en el tercero, construyen muros de carga de madera como muestra la figura 16.



Fig. 16. Columna de papel, puentes de espagueti y muros de madera.

En Shanghái, la Universidad de Tongji organiza un Festival anual de arquitectura en el que participan estudiantes de Arquitectura, Ingeniería, Diseño e innovación, Facultad de Arte y Medios de varias Universidades de China y de diferentes países como; Corea de Sur, Alemania, Italia, Francia, España y Pakistán entre otras, logrando alcanzar un elevado número de inscripciones, con un total de 49 equipos distintos en su edición del año 2019.

Los pabellones que los participantes crearon en dicha edición con polipropileno se exponen en una zona exterior, donde los distintos participantes como el resto de las personas que visitan el espacio pueden observarlas e incluso interactuar con ellas, como se observa en la figura 17, a la izquierda de la figura se observan varios prototipos con los que el público y el resto de participantes pueden explorar desde el interior, a la derecha de la figura se observa uno de los prototipos con el que los niños que visitan la exposición interactúan.

---

<sup>32</sup> (Aisc.org, 2021)

<sup>33</sup> (Kohara, 2008)



Fig. 17. Prototipos de polipropileno del Festival de Tongji 2019

En ediciones anteriores al 2019 del Festival Tongji (Fig. 18), las estructuras eran de cartón, los equipos deben cumplir con una serie de medidas, reglas y condiciones en las construcciones de sus prototipos donde lo primordial es la imaginación y originalidad. Como particularidad del Concurso los participantes duermen durante una noche en el interior de las estructuras que han construido para probar que son sólidas y que no se caen ni derrumban, como muestra la figura de la empresa patrocinadora.



Fig. 18. Vista aérea de los prototipos de cartón, anteriores al 2019 en el Festival Tongji<sup>34</sup>

Como último ejemplo se encuentra *Canterbury University* en Nueva Zelanda, el alumnado de Ingeniería Civil participa en un Concurso de Puentes cuya primera edición data del año 1994. Los participantes crean y diseñan sus prototipos para que puedan soportar el peso de dos personas pero ha de romperse al subir la tercera, y cuya particularidad a destacar, es que, los participantes ejercen de carga a la que se somete la estructura que han realizado hasta alcanzar el límite de rotura establecido. Los participantes

<sup>34</sup> (TotalWinePack, 2014)

se cogen y agarran a unos tirantes y cuerdas que cuelgan de un pórtico para no mojarse o caer al agua, como se muestra en la figura 19.



Fig. 19. Participantes Universidad de Canterbury realizando la prueba de carga <sup>35</sup>

A continuación, se muestra la Tabla 5 donde se recogen los tipos de concursos de estructuras, las universidades donde se han realizado y las palabras clave relacionadas.

**Tabla 5.** Tipos de concursos, Universidades y palabras clave.

CONCURSO	UNIVERSIDAD	PALABRAS CLAVE
Kit K’Nex	Universidad de Cuenca	Sismorresistentes. Carga de personas en TV.
Kit Mola Structural	El Instituto Tecnológico de Massachusetts. École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Universidad Politécnica de Madrid	Kit interactivo como herramienta de aprendizaje
Spaghetti Bridge Building Competition	Universidad de Navarra Universidad Politécnica de Madrid Okanagan College Universidad de Alicante	Innovación Aprendizaje
Puentes con palitos de helado	Universidad Politécnica de Valencia Universidad Miguel Hernández de Elche Universidad de Alicante	Motivación Participación

<sup>35</sup> (Brook, 2014)

CONCURSO	UNIVERSIDAD	PALABRAS CLAVE
Estructuras de Madera	UTFSM, Méjico. Japón Canterbury University Universidad de Alicante	Innovación Aprendizaje activo Experimentación
Steel bridge Competition	Universidad panamericana (Méjico) École de technologie supérieure (Canadá) University of British Colombia (Canadá) Universidad Nacional Autónoma (Méjico) University of Puerto Rico, Mayagüez, (Campus en Estados Unidos) Hohai University de Nanjing (China) Universidad de Alicante (Acero, cobre)	Acero Internacional

CONCURSO	UNIVERSIDAD	PALABRAS CLAVE
Tongji Festival Construction	Tonji University (China)	Cartón Polipropileno Pabellón Interacción Pernoctar
	Tsinghua University (China)	
	Southeast University (China)	
	Tianjin University (China)	
	South China University of Technology	
	Chongqing University (China)	
	Xi'an University of Architecture and Technology (China)	
	Harbin Institute of Technology (China)	
	Shenyang University of Architecture	
	Hunan University (China)	
	Central Academy of Fine Arts (China)	
	Dalian University of Technology (China)	
	Hefei University of Technology (China)	
	Kunming University of Science and Technology (China)	
	Shenzhen University (China)	
	Beijing University of Architecture (China)	
	Changan University (China)	
	Shanghai Jiaotong University (China)	
	Shanghai University (China)	
	Feng Chia University (Taiwan)	
	Chaoyang University of Technology (Taiwan)	
	Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Versailles (France)	
	Georgia Institute of Technology (USA)	
	McGill University (Canada)	
	Pusan National University (South Korea)	
	Universitat Politècnica de Catalunya (Spain)	
	Technische Universität Graz (Austria)	
	Università IUAV di Venezia (Italy)	
	Kyushu University (Japan)	
	University of Melbourne (Australia)	
	Politecnico di Milano (Italy)	
	University of Dundee (UK)	
	Leibniz University (Germany)	
	COMSAT University (Pakistan)	



## 6. COMPARATIVA CONCURSOS UNIVERSITARIOS

Para poder comparar y valorar los distintos Concursos, así como las ediciones de cada uno de ellos se establecen varios parámetros a tener en cuenta que serán valorados como una ventaja, desventaja o indiferente. Si se considera como ventaja se le asigna el color verde, si es indiferente el color será amarillo y si finalmente se considera una desventaja se establece el color rojo.

Los parámetros establecidos como los más relevantes valorados son los siguientes;

- Disposición del material; para que la disposición de material sea una ventaja, su obtención ha de ser fácil y económica.
- Necesidades de espacio; se valora como positivo poder realizar la maqueta en cualquier lugar o si por el contrario es necesario un espacio amplio para su construcción.
- Manufacturación necesaria; si el material de la estructura requiere de mano de obra y alta dedicación en tiempo para modelarlo o darle resistencia, será una desventaja.
- Tiempo de dedicación; cuando la maqueta propuesta requiera de una alta inversión y dedicación ya sea por la complejidad de la propia estructura o por el tipo de material, dicho parámetro será negativo.
- Originalidad; cuando la propuesta es novedosa en cuanto al tipo de material, herramientas y maquinaria necesaria que se encuentran a disposición del alumnado se valora como positivo.
- Herramientas de construcción necesarias; si en la construcción del prototipo es necesario utilizar herramientas de gran envergadura se considera una desventaja, si las herramientas o utensilios son sencillos se le asigna el color amarillo y se dispone el verde si no son necesarias.
- Reutilización; si fuese posible volver a utilizar el material con el que se ha construido la maqueta para realizar otra se establece como ventaja.

Con el fin de recoger todos los parámetros establecidos con relación a cada tipo de Concurso, se ha creado la tabla 6, en la que se muestran dichos parámetros coloreados en rojo, verde o amarillo según se consideren una desventaja, ventaja o indiferente respectivamente ligadas al tipo de concursos que se han mencionado anteriormente y al que le corresponde un número preestablecido como se muestra en la tabla 7.

---

La siguiente tabla muestra los parámetros clasificados con los colores previamente descritos, ligados a los tipos de concursos con la numeración establecida;

**Tabla 6.** Parámetros clasificados por colores según los tipos de concurso

PARÁMETROS	Tipos de concursos									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Disposición de material										
Necesidades de espacio										
Manufacturación necesaria										
Tiempo de dedicación										
Originalidad										
Herramientas de construcción										
Reutilización										

**Tabla 7.** Numeración correspondiente a los tipos de concurso de la tabla 6

1	Kit K’Nex	2	Kit Mola Structural
3	Spaguetti + pegamento	4	Spaguetti + nubes de golosina
5	Papel	6	Cartón
7	Palitos	8	Madera
9	Acero	10	Plástico

Otros parámetros o factores que son positivos y pueden integrarse en cualquier tipología de concurso son los siguientes;

- Realizar actividades complementarias y alternativas junto a la entrega de premios, como Ferias, congresos, exposiciones y eventos relacionados con la materia. Planificación conjunta con de espacios de ocio y descanso como música, gastronomía.
- Difusión del evento mediante medios externos al centro como radio, televisión, redes sociales.
- Integración y promoción en centros de secundaria de las localidades cercanas.
- Participación abierta a toda la comunidad universitaria, creación de varias categorías o concursos añadidos como el de fotografía, DJ’s, monólogos, pasteles, etc.

- Premios económicos, tecnológicos o descuentos en cursos de aprendizaje de software en el ámbito del cálculo de estructuras.
- Concursos planteados tipo yincana, en el que los participantes van superando una serie de pruebas en el momento y en tiempo determinado.
- Realizar las pruebas de carga con el propio peso de los participantes, proporcionando las medidas de seguridad adecuadas para evitar daños, como sujeciones, colchonetas, agua, poliespán.
- Interacción del público y de los participantes con los prototipos si la situación sanitaria lo permite.

Los factores mencionados se pueden realizar en el exterior y limitando el aforo si fuese necesario por razones sanitarias y cuando sea posible no tener que poner ninguna medida se contempla como muy positivo y valorado la interacción entre participantes y los distintos prototipos, así como la interacción con el público tanto del campus como de personas externas a la Universidad.

---



## 7. Estudio realizado

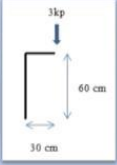
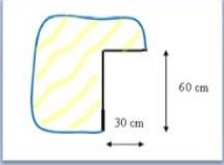
### 7.1 XIX Edición del Concurso de Estructuras

Para tener una experiencia completa se desarrolla y realiza la estructura solicitada en la XIX Edición del Concurso de Estructuras de la Universidad de Alicante propuesta en las [bases](#) de donde se extrae la siguiente información; para la construcción de la estructura sólo se puede utilizar papel y pegamento. El tipo de papel Din A4, 80 gr. sin especificar el tipo o marca de pegamento. Previo acuerdo con el tutor se realiza una presentación del concurso (Fig. 20) donde se exponen las bases, una encuesta previa, así como información de los canales de comunicación durante las fases del concurso, todo ello se muestra en más detalle en el apartado 8.

**AHORA ESTÁ EN TUS MANOS**

EXTRACTO de las BASES XIX EDICIÓN;

- Estructura de papel (Folios DIN A4) y pegamento.
- Forma, diseño y uniones ideadas libremente por los participantes.
- Dimensiones mínimas del hueco libre en su interior; 30 \* 60 cm.



Se cargará exteriormente en la parte del voladizo debiendo soportar 3 kp.

Puntuación y valoración dentro de la guía docente y tres premios a las mejor valoradas.

Inscripción hasta el 14 de mayo y el 21 resolución del concurso online a través de Google [meet](#); Enlace que encontrareis en el Panel del Concurso.

Fig. 20. Diapositiva de la presentación del XIX Concurso de Estructuras

Fase de diseño; En cuanto a la forma, los diseños tendrán una altura mínima de 60 cm y una parte volada de 30 cm donde una vez construida se coloca una carga de 3kp en el extremo del voladizo, como se muestra en el esquema de la figura 21.

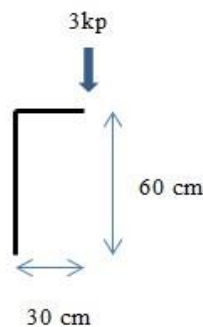


Fig. 21. Esquema de la Estructura de la XIX Edición del Concurso de Estructuras de la UA

El primer paso por realizar son los bocetos de las ideas de diseño que surgen al analizar la estructura. Son el principio para plasmar las creaciones de la imaginación, se trata de dibujar varios diseños con diferentes formas, tipologías e ideas para poder analizar posteriormente su idoneidad.

Al compartir dichos bocetos con el tutor responsable de la actividad, nos dará un feedback esencial sobre si realmente la estructura que nosotros pensamos se corresponde con las solicitudes establecidas en las bases del concurso.

Las siguientes figuras (Fig. 22 y 23) son una muestra de los bocetos realizados para la XIX Edición del Concurso de Estructuras de la UA. La figura 22 es una muestra de bocetos iniciales que se han realizado independientemente sin tener en cuenta el material con el que se van a realizar las futuras estructuras.

Al considerar que el material son folios con unas medidas determinadas y por lo tanto hay que manipularlo y realizar uniones se realizan otra serie de bocetos, llamados bocetos finales, en los que se valora cual es el diseño más conveniente y que facilite dicha manipulación (Fig 23).

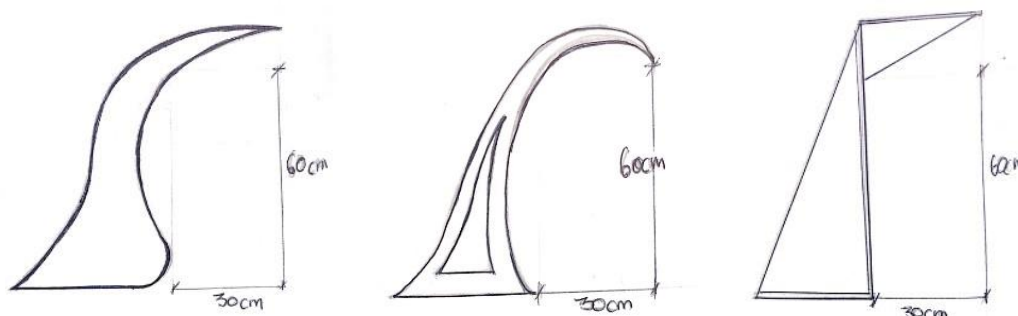


Fig. 22. Bocetos iniciales

La figura 23 muestra los bocetos finales atendiendo al material preestablecido;

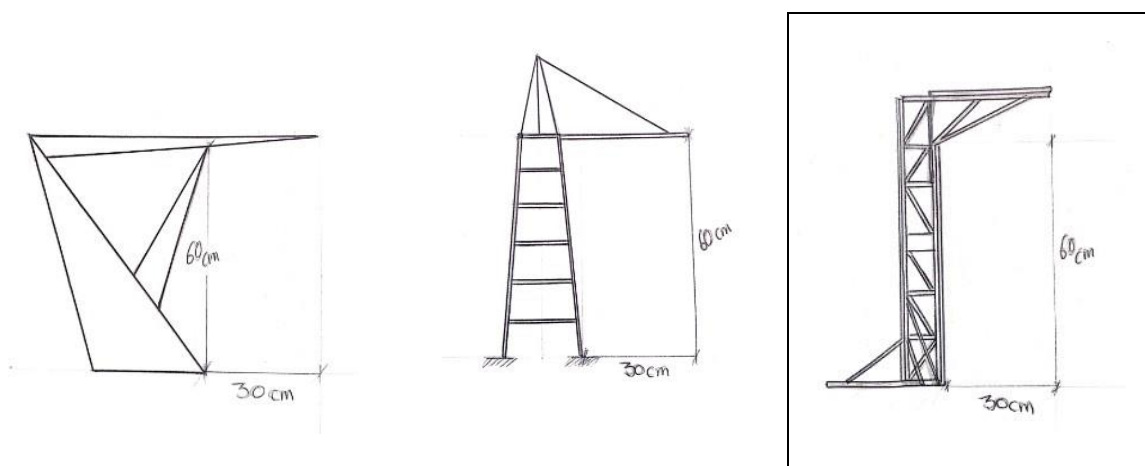


Fig. 23. Bocetos finales

Después de analizar los distintos bocetos y experimentar con el papel (Fig.25), se escoge el boceto remarcado de la figura 23 (dcha), para una mayor comprensión del boceto se añaden dos vistas más; planta y perfil como vemos en la Fig. 24 del boceto definitivo.

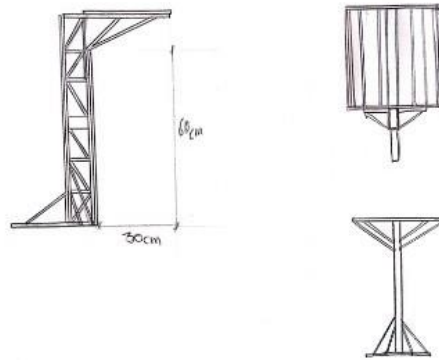


Fig. 24. Alzado del boceto definitivo con vistas de planta y perfil

En la Fase de Construcción, al principio se experimenta con el papel y se manipula de diferentes formas como, por ejemplo: se hacen pliegues, pero al realizarlos manualmente, no son completamente simétricos ni paralelos, por lo que se descarta. También se pegan tiras y se realizan diferentes prototipos a pequeña escala mediante diseños que intenten mejorar la consistencia y resistencia que ofrece el papel, de este modo se van descartando ideas como muestra la figura 25.



Fig. 25. Experimentaciones con papel descartadas

Tras realizar pequeños modelos y pruebas con los folios y cola blanca, se observa que la mejor solución es, enrollar los folios junto con una proporción adecuada de cola blanca con agua, que no sea demasiado líquida, pues rompe el papel, ni demasiado espesa porque dificulta su manejo.

A continuación, se muestra la solución seleccionada en cuanto la manipulación del papel (Fig. 26).



Fig. 26. Solución de la manipulación del papel

Como se menciona, finalmente se crean una serie de 'churritos' con cola blanca y un poco de agua que se agrupan para formar las dos columnas principales, mediante dos churritos y otro folio con cola que los recubre, para reforzar las uniones y dar más consistencia como se puede ver en la figura 27. Cuando se utiliza cola blanca es necesario que se seque y para ello se deja un mínimo de 24 horas en un lugar ventilado. Para posteriores refuerzos de las barras principales, diagonales u horizontales, así como para la creación de la parrilla superior (donde se situará la carga), se utiliza una pistola de pegamento porque su secado es prácticamente instantáneo y no necesita de tanto tiempo como la cola blanca para que se seque y realizar las uniones más rápidamente.



Fig. 27. Fase de construcción y materiales utilizados

En cuanto las medidas, se han creado churritos del alto y del ancho del folio para intentar hacer los mínimos cortes de papel o tener que realizar dichos churritos con medidas exactas, por lo que para poder cumplir con el alto mínimo (60cm) se han unido dos churros al largo y otro al ancho que se unen para completar la altura de la estructura y se refuerzan con más churros de su misma altura en paralelo aumentando así la sección que formará parte de los pilares principales. Para cumplir con el vuelo de 30 cm del voladizo donde debe

situarse la carga, se crea una especie de parrilla, formada por churritos del largo del folio unidos perpendicularmente a churros enrollados al ancho.

Se realizan imágenes de la parrilla y del pilar principal, a la derecha de ambas se muestra la zona marcada con un óvalo, ampliada, para visualizar que cumple las medidas establecidas (Fig. 28).

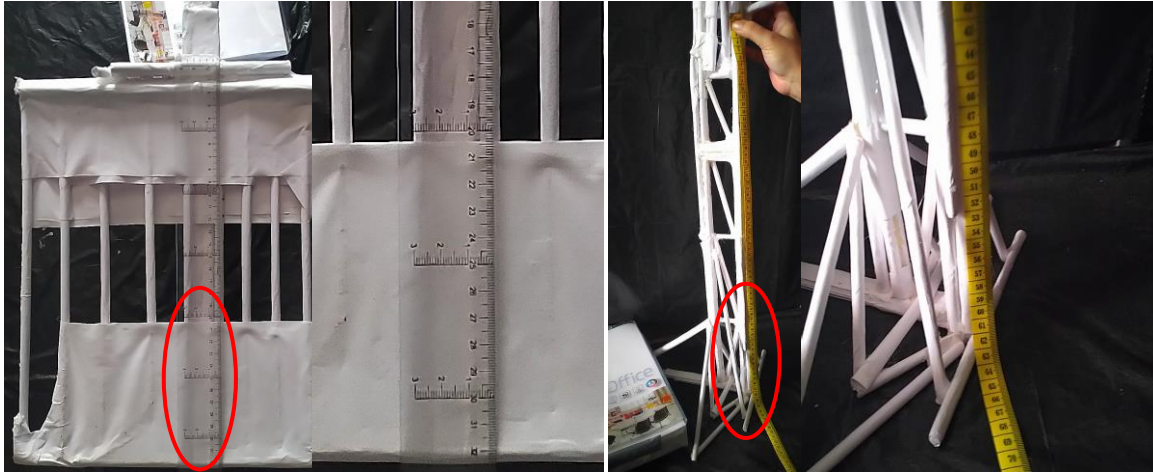


Fig. 28. Justificación de medidas mínimas.

Una vez unidas las partes principales se refuerza la estructura con diagonales, horizontales y perpendiculares a los pilares principales, tanto en la base como en la parte superior que dará soporte a la parrilla y por lo tanto tendrá que aguantar las fuerzas y el momento de vuelco que generará la carga. Con respecto a dicho momento de vuelco, se soluciona y contrarresta mediante la aplicación de un contrapeso en la base, para ello se colocará en paquete de folios, libros en su defecto, como muestra la figura 29.



Fig. 29. Estructura terminada



Como se observa en la fig. 29, la imagen de la derecha pertenece a la estructura terminada, se realiza la prueba de carga en el extremo del voladizo colocando tres paquetes de arroz de 1 kilo cada uno en dicho punto, como justificación de la prueba además de la imagen se crea un vídeo, donde se puede ver que la estructura construida es capaz de soportar los 3kp, que se envía al tutor para su verificación.

## 7.2 Aprendizaje de las Estructuras mediante el uso de las maquetas Mola

Esta herramienta de aprendizaje nace de un Ingeniero civil (Sequeira, 2008), que crea con su Tesis un modelo estructural cualitativo para la preevaluación del comportamiento de estructuras metálicas, en su trabajo destacan dos motivaciones principales, por un lado, observa la dificultad de comprensión por parte del alumnado en cuanto al comportamiento estructural unido a las tradicionales clases de docencia mediante proyección de imágenes y problemas de cálculo. Por otro lado, destaca diferencias entre ingenieros y arquitectos, en los que unos estarían más enfocados en los cálculos matemáticos y los otros en el diseño, por lo que Mola Estructural Kit se expone como herramienta para el entendimiento tanto para alumnado y profesorado como para técnicos de distintas ramas.

En su estudio y análisis se muestran herramientas y recursos de aprendizaje desde los años 1890, como es la representación con personas de modelos estructurales, una de las más antiguas y conocidas es la del puente Forth Railway en Escocia que también podemos ver representada por alumnos de ingeniería de la Universidad de Cartagena más de 100 años después en la figura 30.



Fig. 30. Ingenieros del proyecto demuestran los principios de voladizo del puente Forth en Escocia; 1887 (izda). Alumnos de Ingeniería Universidad de Cartagena; 2016 (dcha)

Como se muestra en la figura 31, el kit Mola Structure también es capaz de representar el mismo puente.



Fig. 31: Imagen real del puente Forth (arriba) y su representación con Mola (bajo)

Es su estudio y desarrollo de la Tesis que da lugar a la creación del kit Mola, se recoge desde la maqueta de la colonia Güell de Antonio Gaudí, la obra de Frei Otto basada en la experimentación con pompas de jabón, hasta metodologías más actuales como la utilización de mesas sísmicas o de túneles de viento en laboratorios de aerodinámica en las que se analiza el comportamiento dinámico de las estructuras, como puentes atirantados o pequeños modelos de experimentación de una empresa alemana que dispone de equipos para la educación en ingeniería, como muestra la figura 32, de un sistema a pequeña escala para la medición de esfuerzos en celosías hiperestáticas.

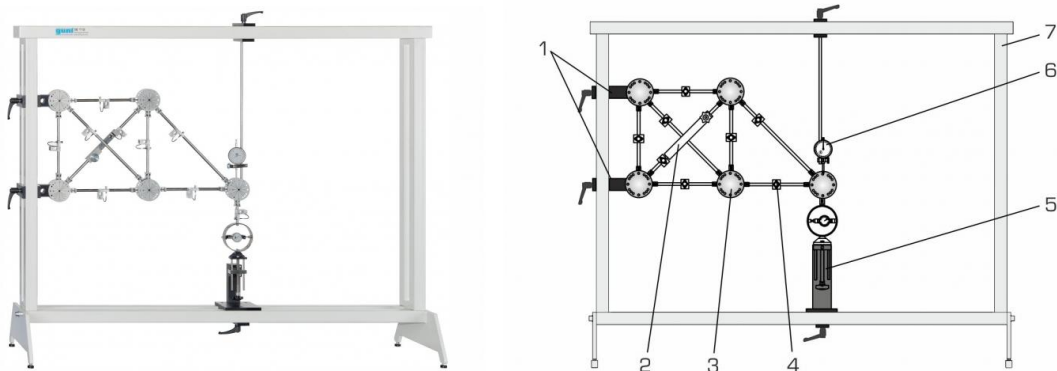


Fig. 32. Celosía de la empresa alemana gunt.es

Tras este estudio de sistemas, herramientas y diferentes actividades junto a la comparación y validación mediante software informático, crea su prototipo; un conjunto de rodamientos, imanes, muelles y tirantes con el que experimentar al construir diferentes prototipos y sentir en las propias manos su comportamiento estructural dependiendo de su



forma y tipología. Gracias al tutor del presente proyecto dispongo del kit 2 con el que realizar un modelo similar al realizado en papel para su posterior comparación y análisis, la siguiente figura (Fig. 33 izda) muestra el kit 2 de Mola Structural y los bocetos de las estructuras que se construyen posteriormente con el mismo con el fin de ir experimentando, sentir, ver, percibir y notar en mis manos las diferencias en cuanto al comportamiento estructural de cada diseño atendiendo al número de apoyos (Fig 33 dcha).

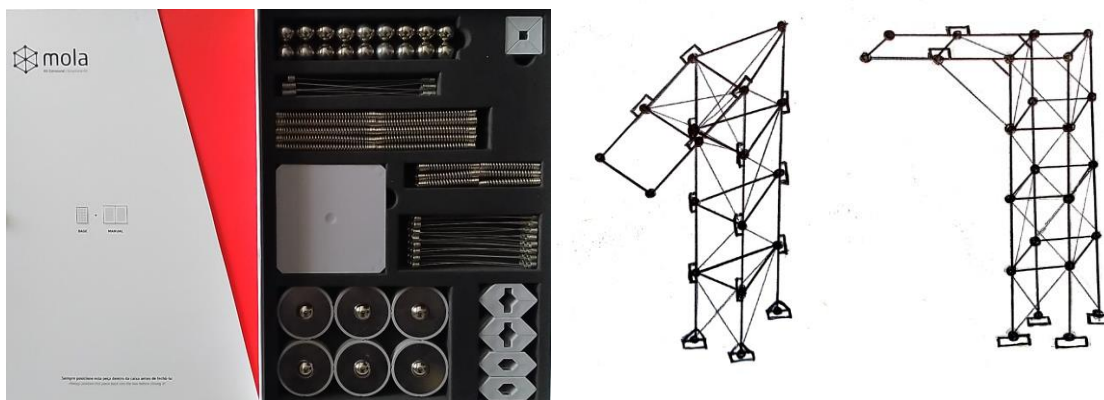


Fig. 33. Kit 2 Mola en su caja (izda) y bocetos con 3 o 4 apoyos de la estructura Mola (dcha)

Como se observa en los bocetos de la maqueta Mola, se disponen el doble de piezas a lo alto que, en la parte volada, con el fin de representar la escala lo más fielmente posible la estructura realizada con papel. Otra de las diferencias al trabajar con piezas establecidas con medidas determinadas, como son los muelles que forman los pilares, es no poder construir una pieza continua en altura, por lo que la base ha de ser de tres o cuatro apoyos mínimos como se representa con los bocetos y en la figura 34 de las maquetas construidas finalmente con el kit Mola.



Fig. 34. Estructura Mola con tres y cuatro apoyos

Es posible sentir en las propias manos como la estructura se rigidiza y se hace más estable según se añaden tirantes, así como sentir las diferencias en cuanto a estabilidad dependiendo del número de apoyos y rigidizadores. Una herramienta práctica y táctil que muestra el comportamiento estructural y las deformaciones frente a esfuerzos o el aumento de cargas. Como se observa en la figura 34, la maqueta con tres apoyos (izda.) necesitan de más piezas en los nudos que den más estabilidad al conjunto.

Al experimentar con el kit y con el fin de que sea más versátil, se proponen tres ideas de mejora;

- Mayor número de piezas como los rodamientos para construir estructuras más altas o anchas.
- Mayor variedad de medidas de los muelles y tirantes.
- Flexibilidad de las piezas que simulan ser paredes o forjados.

La flexibilidad de la estructura y sus deformaciones son representaciones de las que sufren los pórticos en la realidad y por lo tanto ofrecen una información muy valiosa en cuanto al análisis de como reforzar una estructura al mostrar los puntos débiles de la misma en aquellos puntos en los que más se deforman o incluso observar cual es la primera pieza que se suelta y origina la caída del prototipo realizado con el kit. Este es uno de los factores principales que hacen que más que un juego, el kit sea una herramienta de aprendizaje.

Como se muestra en la figura de 33 a la izquierda tenemos el kit en su caja, se observan unas piezas cuadradas de color gris que representan forjados o paredes de las construcciones, dichas piezas son rígidas y realizadas con un material plástico que no se deforman, ni son flexibles como los muelles o tirantes. Con el propósito de que estas piezas se deformen con todo el conjunto, se realiza una cota de malla que ha necesitado 424 anillas de 4mm de diámetro que se engarzan 4 en 1 para formar una red flexible como muestran la figura 34, en el que se puede ver el proceso constructivo y su emplazamiento en la maqueta.

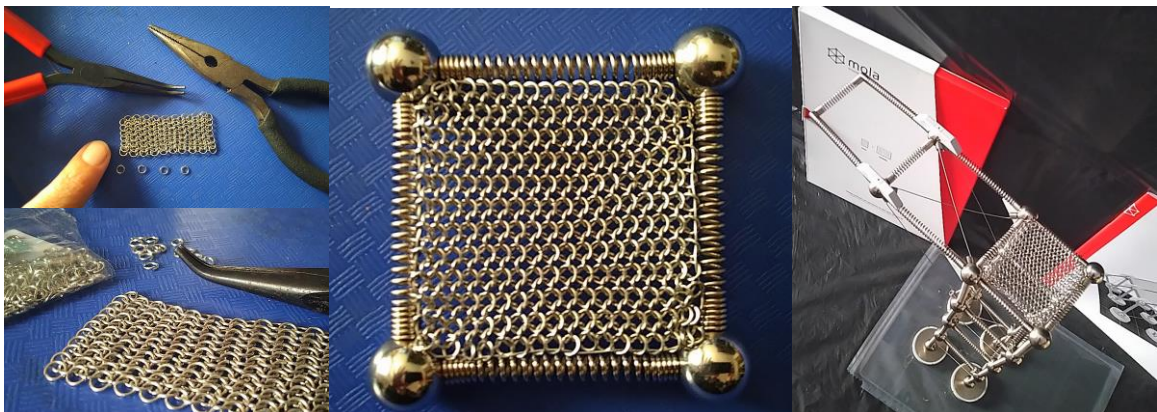


Fig. 34. Construcción de la cota de malla, emplazamiento y puesta en maqueta.

A continuación, se observa la Figura 35 con imágenes de la estructura realizada con Mola en la que se ha colocado la malla en la parte superior (izda) y a su derecha tenemos la imagen ampliada de perfil (centro), en ambas se ha colocado una bola marrón que simula la carga en el centro de la cota de malla, en la que se puede ver la deformación producida en la misma y como varía su posición en función de la carga al colocar la bola hacia el extremo (dcha).

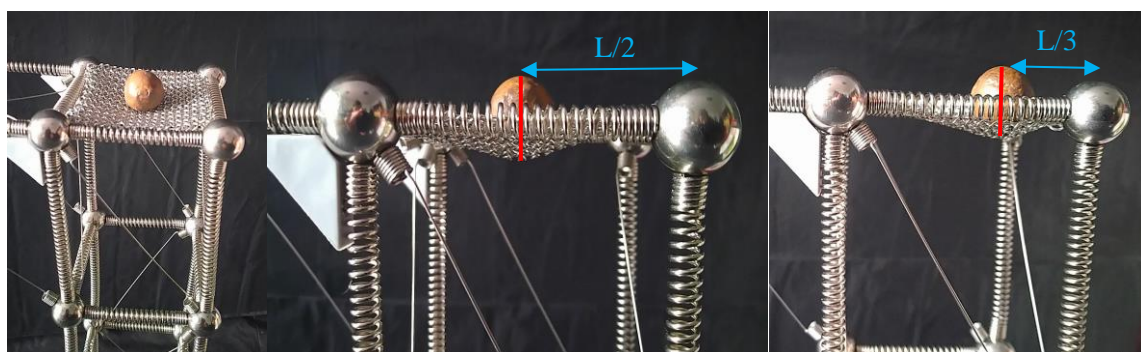


Fig. 35. Estructura Mola con cota de malla cargada en el centro y a la derecha

Como se señala en apartados anteriores el Kit de construcción Mola ha traspasado sus fronteras llegando a ser una herramienta de aprendizaje de estructuras en varios países del mundo.

En cuanto a herramientas para el análisis del comportamiento dinámico estructural mencionadas anteriormente como las mesas sísmicas y los túneles de viento e incluso la grabación con cámara superlenta son actividades educativas y motivantes que requieren de inversión, pero necesarias para incentivar la innovación y el desarrollo como corroboran los ejemplos siguientes; mediante el diseño y construcción de un simulador sísmico con el que analizar las estructuras diseñadas (Lozano, 2013) así como su implementación en las Universidades para el análisis dinámico estructural de las mismas<sup>36</sup>, frente a los esfuerzos que producen los movimientos terrestres. Otros ejemplos del estudio del comportamiento Aero elástico de puentes mediante túnel de viento junto a los ensayos experimentales muestra de forma visual la respuesta de los distintos prototipos según su tipología<sup>37</sup>. Una muestra reciente de la necesidad e importancia de la inversión que impulse tanto la construcción como la educación universitaria la encontramos en Granada, donde han instalado un túnel que comparten futuros ingenieros y arquitectos donde analizan puentes

<sup>36</sup> (Romero, 2016)

<sup>37</sup> (Jurado, 2017)

y edificios o estudiantes relacionados con la aerodinámica o el deporte de alto rendimiento<sup>38</sup>.

Tanto los Concursos con mesas sísmicas o vibratorias como los Concursos con túnel de viento pueden realizarse con cualquier tipo de material pues dependen más de las instalaciones, uso de laboratorio/taller de estructuras y medios auxiliares de los que disponga la Universidad o realizar un encuentro entre distintas universidades para realizarlo en aquella que disponga de dichas dotaciones.

### 7.3 Fase de cálculo por ordenador

La aparición y popularización de los computadores digitales cambiaron totalmente el panorama del cálculo de estructuras, debido a la facilidad del manejo de grandes volúmenes de información y realización de operaciones complejas con matrices y vectores, todo ello hace del ordenador una herramienta potentísima que permite el cálculo de estructuras de gran complejidad en un corto espacio de tiempo y con total fiabilidad (Celigüeta, Cálculo de estructuras con Cespla 7, 2011).

Encontramos programas informáticos especializados en el modelado, diseño y cálculo de estructura a nivel profesional como Sap2000, CypeCad o AutoDesk Revit, son muy completos y junto con la metodología BIM (Building Information Modeling) se facilita la coordinación, la gestión de documentos y la simulación durante todo el ciclo de vida de un proyecto desde su planificación, diseño, construcción, operaciones y mantenimiento. Proceso inteligente basado en modelos 3D que da a los profesionales de arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) la perspectiva y las herramientas para planificar, diseñar, construir y administrar edificios e infraestructura con más eficiencia, permite capturar los datos que se generan durante el proceso constructivo, lo cual supone una ventaja para las operaciones y las actividades de mantenimiento.

Al ser herramientas tecnológicas tan completas, su uso y dominio es complejo y requiere de unas 100 horas de inversión en tiempo de aprendizaje como muestran los cursos que se organizan para ello, sin contar la dedicación invertida en la comprensión de conocimientos previos como física aplicada, matemáticas, materiales o geometría.

La Universidad de Alicante realiza un Curso Oficial de Autodesk Revit Básico + Architecture del 23 de abril al 28 de mayo de 2021 con una duración de 50 horas.

---

<sup>38</sup> (G., 2020)

Dependiendo de las solicitudes también se ofertan y realizan cursos avanzados y especializados como;

Curso Oficial de Autodesk Revit Avanzado con una duración de 44 horas.

Curso Oficial de Autodesk Revit MEP con 24 horas de duración.

Curso Oficial de Autodesk Revit STRUCTURE de 12 horas.

Curso Oficial Robot STRUCTURAL ANALYSIS de 20 horas.

Curso Oficial Autodesk Navisworks, de 36 horas.

Encontramos toda la información sobre contenidos, descripción e inscripción de cada uno de ellos en la web del [Laboratorio BIM de la Universidad de Alicante](#). Como se muestra es una herramienta potentísima y necesaria en el futuro profesional del alumnado, pero complicada para abordarla en la asignatura de Cálculo de Estructuras I (16017) o en Estructuras 1 (35518), pues requiere de los conocimientos previos que se imparten en ellas más la inversión en tiempo para el dominio del propio software. Por todo lo anterior, para el análisis y estudio de la estructura planteada para la XIX Edición del Concurso de Estructuras de la UA se escoge el programa informático Cespla 7.

Cespla 7, permite el análisis y cálculo de estructuras planas, muchas estructuras reales pueden asimilarse con modelos planos, lo que disminuye su complejidad de cálculo y permiten presentar los mismos problemas que las estructuras espaciales sin complicar en exceso su estudio. Por ello las estructuras planas juegan un papel tan importante en la docencia del análisis estructural y se escoge este software para el diseño y estudio. Otra de las ventajas de su sencillez a diferencia de los programas profesionales, es poder instalarlo en equipos que no requieran de muchos recursos y capacidad, así como su obtención al ser un software libre y publicado por la Universidad de Navarra.

Se ha insertado la forma de la figura del boceto seleccionado (Fig 22 dcha) en Cespla 7, se ha establecido una deslizadera y un apoyo en la base, una carga puntual en el extremo del voladizo de 3 kp. como indicaban las bases y otra carga puntual en el extremo contrario de la base que simula el contrapeso. A continuación, se muestra la Fig. 36 donde se observa un esquema de la estructura planteada y a la derecha de la figura se observa la deformada de la estructura en color naranja;

---



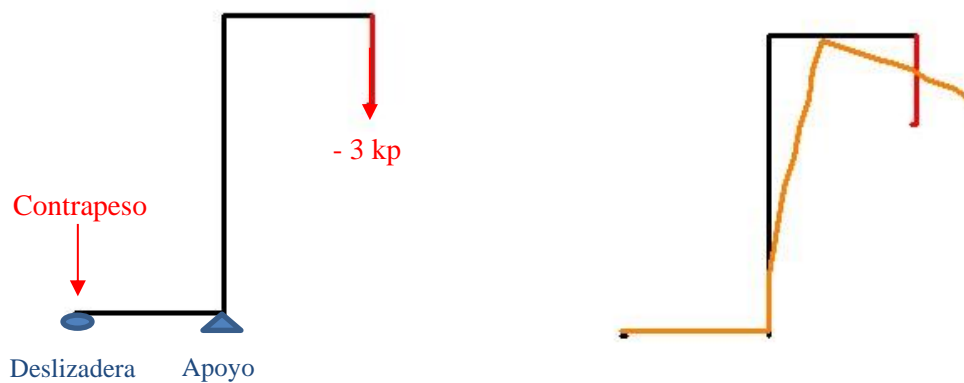


Fig. 36. Estructura en Cespla 7 con deslizadera y apoyo donde se observa su tipología inicial, la carga, el contrapeso y la deformada según la hipótesis de carga establecida.

Se han realizado distintas capturas del programa que muestran los resultados obtenidos en cuanto a los desplazamientos de los nudos, así como los diagramas de axil, cortante y flector. Obteniendo un análisis que nos permite ver los puntos sometidos a mayores esfuerzos de la estructura y por lo tanto los que más se han desplazado, que deberán de ser de mayor sección o a reforzar. Siendo una herramienta muy intuitiva, de fácil manejo y apoyo en el aprendizaje del cálculo estructural.

A continuación, se muestran los diagramas obtenidos mediante Cespla 7 de la estructura diseñada en la figura 37, se observa el resultado del esfuerzo axial a la izquierda y el esfuerzo cortante a la derecha.



Fig. 37. Captura Cespla 7 del esfuerzo axil (izda) y del esfuerzo cortante (dcha)

La figura 38, a la izquierda es el resultado del momento flector y a la derecha se muestra el desplazamiento en datos del punto en el extremo del voladizo (P3).

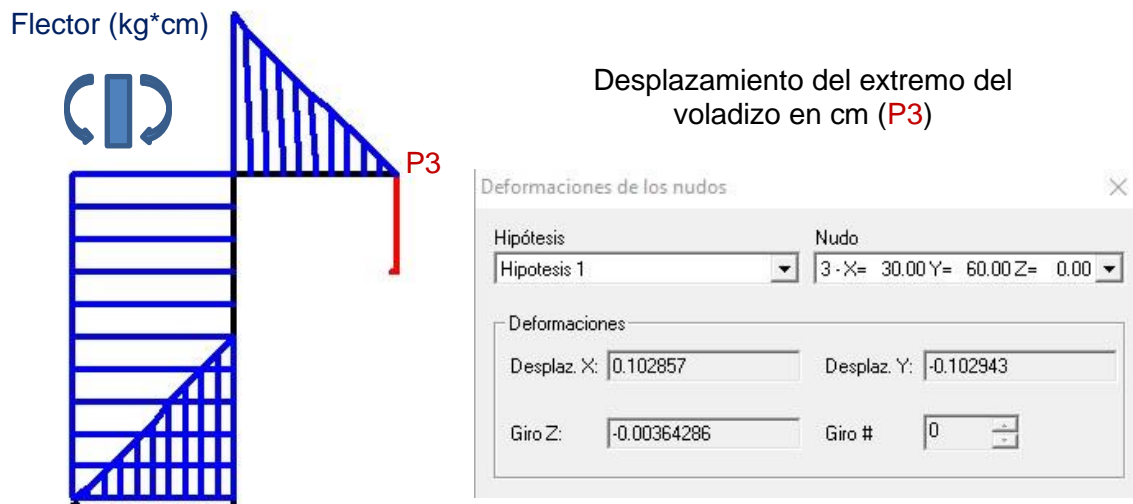


Fig. 38. Momento flector (izda), diagramas de axil, cortante y flector juntos con deformada (dcha)

Como se muestra, la obtención de los diagramas y la deformada es un proceso sencillo, también es posible consultar todos los resultados numéricos de cada una de las vigas o secciones de la estructura diseñada, como podemos ver en la figura 39 en el que se ha seleccionado el segundo tramo que corresponde al denominado pilar principal de la estructura.

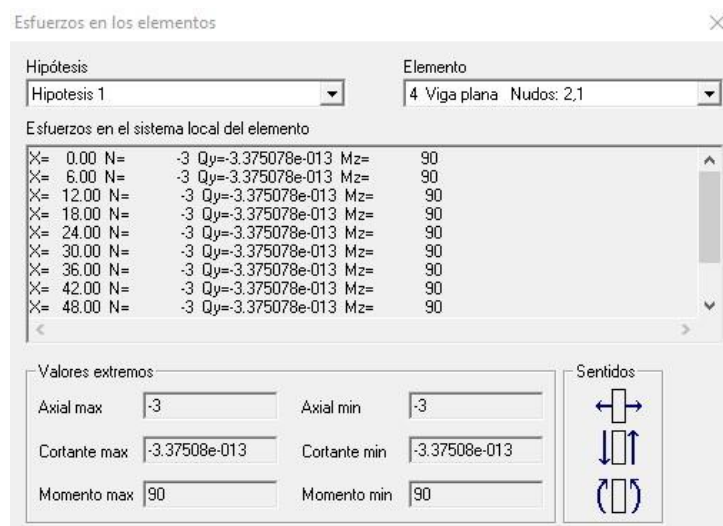


Fig. 39. Resultados numéricos Cespla 7, sección correspondiente al pilar principal de la estructura planteada.

De los resultados anteriores podemos extraer las secciones de la estructura que están sometidas a mayores esfuerzos y por lo tanto serán las zonas que tendrán una mayor sección o deberán ser reforzadas para aumentar su resistencia, al obtener un resultado al momento



y no tener que realizar los cálculos manualmente, podemos ir modificando el modelo y ver las diferencias y si lo que diseñamos es útil. Al igual es posible saber los datos numéricos de los resultados de la deformada con el fin de ir introduciendo cambios, como refuerzos y diagonales y ver las diferencias numéricas entre ambas.

En la siguiente figura (Fig. 40) se ha añadido una barra diagonal que da soporte al voladizo, con el fin de disminuir el esfuerzo cortante que se genera en la viga volada por la carga aplicada en el extremo de esta. A la izquierda se muestra la forma de la estructura (color negro), la carga en voladizo de 3kp (color rojo) y la deformada de la estructura (naranja). A la derecha se recogen los datos numéricos de la misma sección seleccionada anteriormente. Podemos ver y comparar los resultados numéricos obtenidos de la estructura sin dicha diagonal (Fig. 39) y con ella (Fig. 40 dcha). Con el fin de que las medidas del hueco no varíen y puedan cumplirse ( $60 * 30$  cm) la estructura deberá de ser más alta para que la diagonal no invada dicho hueco. La estructura diseñada en el programa Cespla 7 tiene 75 cm de alto y la diagonal se sitúa desde el extremo del voladizo hasta el punto del pilar que se sitúa a 60 cm de altura.

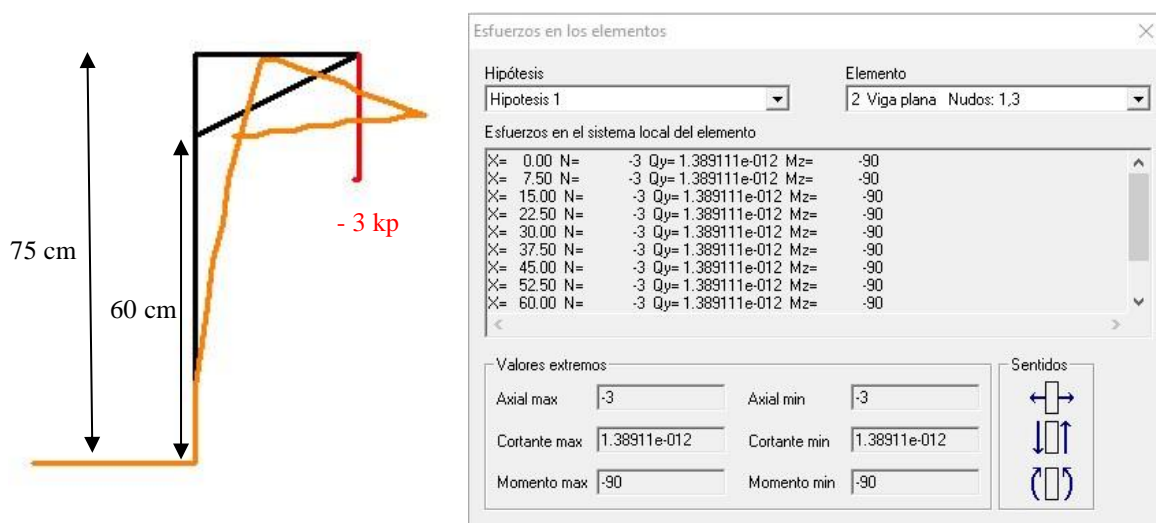


Fig. 40. Resultados deformada 2 (izda) y datos numéricos (dcha) al añadir la diagonal

Como se muestra en las capturas realizadas del programa Cespla 7, las principales diferencias se encuentran en los resultados del esfuerzo cortante al añadir la diagonal, donde el cortante máximo de la Hipótesis 1 recogido en la Fig. 39; ( $3.38 * e0.13$ ), se reduce de forma notable en la segunda estructura planteada de la Fig. 40; ( $1.39 * e0.12$ ).

Si repetimos este proceso de añadir barras diagonales como refuerzo podemos ver de forma visual y numérica dichos resultandos, liberándonos del proceso de realizar los cálculos de manera manual y por lo tanto ganar tiempo en este proceso comparativo y corroborativo en cuanto a las posibles mejoras introducidas en la estructura diseñada, afianzando así los conocimientos, ideas previas e intuición propia sobre el comportamiento estructural.

Al tener los resultados de forma inmediata en la misma figura podemos incrementar el número de elementos fácilmente en el mismo diseño y ver el comportamiento de la estructura planteada, con el fin de que sea más estable y resistente. Por lo que en la siguiente figura (Fig. 41) se ha añadido otra barra que muestra cómo varia la deformada, así como los datos numéricos del desplazamiento del P3 en cm, siendo este el extremo del voladizo.

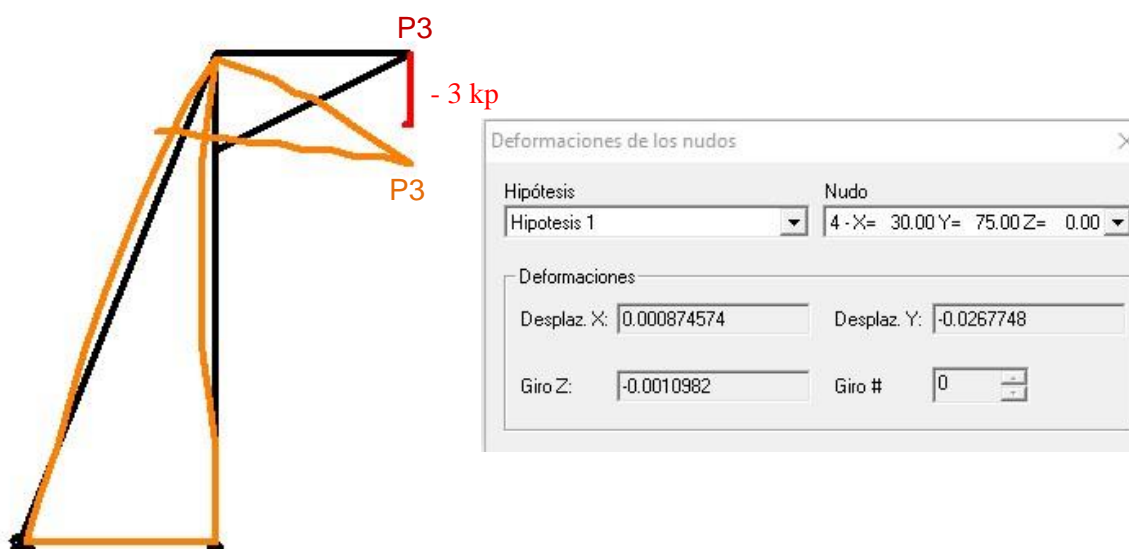


Fig. 41. Resultados deformada 3 (izda) y datos numéricos en cm. del P3 (dcha)

Otra de las soluciones es cambiar los perfiles de las barras por otros de mayor sección o establecer los datos que corresponderían a la resistencia y elasticidad del papel encolado para lo que se deberían realizar los cálculos correspondientes en el laboratorio o utilizar otro software de diseño paramétrico de estructuras que disponga de más variedad de materiales, al no ser un parámetro indispensable en el presente proyecto puede ser una futura línea de investigación.

Encontramos el programa y su desarrollo para su uso y experimentación en las siguientes direcciones, consultadas por última vez el 20/05/2021;

- Descarga del software Cespla 7; (ingenieriavilfsa, 2021).
- Desarrollo y guía de uso del software Cespla 7; (Celigüeta, unav.edu, 2021)

## 8. Resultados Obtenidos

### 8.1. IMPLANTACIÓN, PRESENTACIÓN, DEBATE, ENCUESTA PREVIA, ENTREGA DE PREMIOS Y CUESTIONARIO FINAL DE SATISFACCIÓN

A finales de marzo del 2021, como se menciona en el apartado anterior, se expone una presentación de la XIX Edición del Concurso donde el alumnado disponga de ejemplos en cuanto a la importancia de la experimentación. Con ello se motiva y anima a los participantes a explorar, imaginar, crear y pensar de forma distinta a la habitual.

En la presentación también se incluye un extracto de las Bases de la XIX Edición del Concurso de Estructuras de la UA y se atiende a cualquier cuestión planteada. Para ello el día 29/03/2021 en coordinación con el tutor se requieren los 10 primeros minutos de las clases de ese día de tres grupos en concreto a las 10:30 h., 12:30 y 14:30 (CEI 16017).

Posteriormente a las bases, se exponen las Fases del concurso, así como un enlace y un código QR para realizar una encuesta previa y las vías de comunicación abiertas durante la realización de este. Para el resto de los grupos o para los participantes de otras asignaturas, así como aquellos matriculados en las asignaturas que no hayan podido asistir, la presentación queda disponible en el UaCloud para que puedan visualizarla.

El día de la presentación se abre un debate sobre el concurso en la plataforma universitaria UaCloud, con el fin de tener un canal de comunicación común durante la realización del concurso, donde puedan expresar sus inquietudes, dudas o ideas.

En la encuesta previa realizada se utiliza la aplicación Google forms, esta herramienta permite realizar cuestionarios de forma digitalizada dando el formato de respuesta cerrada, abierta, de opción múltiple o respuesta obligatoria entre otras. Además, permite ver los resultados de las respuestas de forma individualizada o gráfica si es global.

En ella, se recogen dos tipos de cuestiones principalmente, las cuestiones donde los participantes indican al marcar las fuentes y recursos que utilizan normalmente, tanto para resolver sus dudas como por entretenimiento que se realizan con el fin de descubrir si tienen inquietudes previas o que indiquen un interés por arquitectos, ingenieros y/o empresas, cuya trayectoria y obras diseñadas generen curiosidad o sirvan de inspiración y motivación. Las cuestiones donde se deja abierta la respuesta tienen la finalidad de recoger ideas, sugerencias, críticas o alternativas a la actividad y a las bases de la XIX Edición del Concurso de estructuras de la UA.

A 20 de mayo de 2021 se recogen las respuestas a la encuesta previa disponible desde 29/03/2021, como se muestra en los gráficos de las figuras 42 y 43 se obtiene un total de 17 respuestas, con las que se generan los gráficos que corresponden a los resultados de

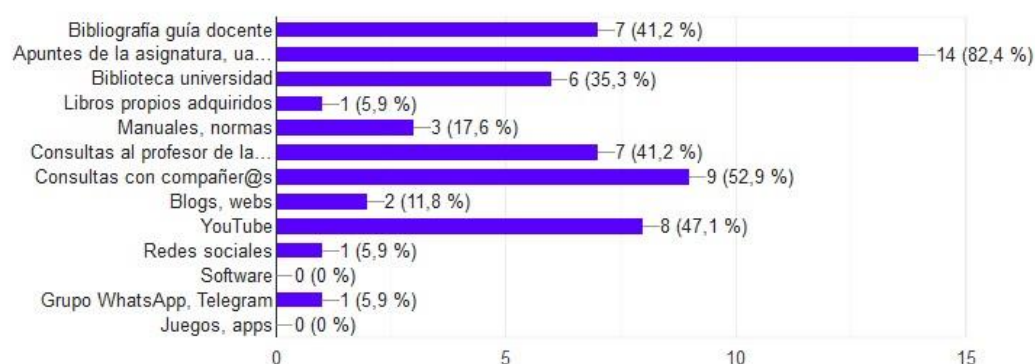
---

las preguntas con respuesta cerrada, en los que se indican las proporciones de las opciones más utilizadas por el alumnado.

El primer gráfico de la figura 42 muestra las fuentes y recursos más utilizados como son los apuntes de la asignatura en primer lugar, en segundo lugar, se sitúan las consultas con compañeros y YouTube, en tercer lugar, señalan las consultas al profesor de la materia, la bibliografía de la guía docente y la biblioteca de la universidad. Con los siguientes gráficos de forma circular se refleja el interés previo por la materia.

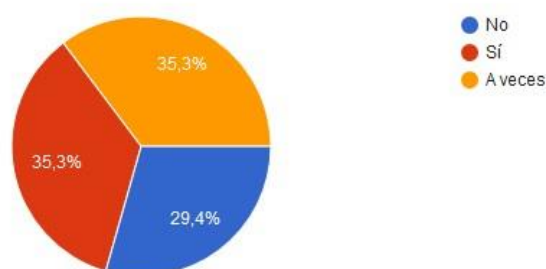
Que recursos de diseño o cálculo estructural utilizas habitualmente?

17 respuestas



Sigues a algún grupo, empresa, autor/a, ingenier@, arquitect@?

17 respuestas



Consideras el cálculo estructural imprescindible para tu futuro profesional?

17 respuestas

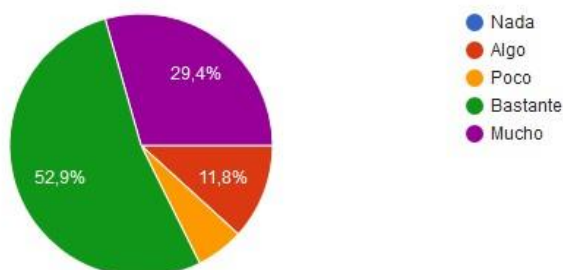


Fig. 42. Resultado de las cuestiones sobre fuentes, recursos y motivación previa en la materia

Los gráficos de la figura 43, recogen principalmente el interés por la materia y su dominio a través de software especializado como muestra el gráfico circular, el segundo grafico de barras muestra las motivaciones principales más señaladas de los participantes por realizar el concurso como son el primer lugar la nota y en segundo el autoaprendizaje. Por último, se expresan las dificultades encontradas más indicadas por el alumnado como la carga lectiva y el tiempo.

Estás interesad@ en realizar algún curso de cálculo de estructuras mediante software?

17 respuestas



Que te motiva para participar en el Concurso?

17 respuestas



Consideras alguno de los siguientes factores negativos para el Concurso?

17 respuestas



Fig. 43. Resultado de las cuestiones cerradas de la encuesta previa a través de Google forms

Las cuestiones de respuesta abierta son dos, la primera es si consideran el concurso una buena herramienta de aprendizaje y porqué, en la segunda se recoge si ellos harían algún cambio. De las 17 respuestas recibidas, 14 son positivas, 1 no sabe y solo dos son

negativas, en ellas se responde que no consideran el Concurso una buena herramienta de aprendizaje porque suscita muchas dudas y por no ser la única herramienta de evaluación.

En cuanto a las dudas que puede generar enfrentarse a un problema de forma distinta a la habitual puesto que no hay una guía en la que se indique exactamente cómo proceder, si no que cada participante sea libre a la hora de diseñar, manipular y construir su modelo. Esto puede ser un hándicap para el alumnado al tener que salir de su zona de confort e ir aprendiendo de su propia experimentación, para su guía, apoyo y dudas en las distintas fases del concurso cuentan con el debate, las tutorías y correo electrónico con los tutores de las asignaturas 16017 y 35518.

Por último, en cuanto a la segunda respuesta negativa recogida, he de indicar que no sería un buen criterio evaluar toda la asignatura con una herramienta o actividad y no cumpliría los requisitos del marco normativo europeo, atendiendo a las competencias verificadas por la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA).

En cuanto a las respuestas con valoración positiva se destacan los aspectos siguientes;

Base del aprendizaje ligado al buen desarrollo del futuro profesional.

Desarrollo y aprendizaje de conceptos de forma práctica, diferente o divertida.

Proyecto palpable y tangible, correspondencia con los cálculos numéricos.

Fomentar el interés y entendimiento sobre el comportamiento estructural que no dependa solo de cálculos matemáticos y además sirve para entenderlos viendo su correspondencia con la realidad.

El 21/05/2021 se celebra la exposición, presentación y puesta en carga de las estructuras por parte de los participantes, gracias a la mejora de las condiciones sanitarias derivadas del covid-19 se ha modificado a presencial, dicho encuentro se celebra en los exteriores de la Escuela Politécnica Superior de la UA, como muestra la figura 44.



Fig. 44. Celebración del XIX Concurso de Estructuras de la UA, Politécnica IV



Se recogen los datos del debate y se deja de plazo hasta el 27/05/2021 para responder el cuestionario de satisfacción sobre la actividad docente y el concurso planteado. Respecto al debate, el tutor responsable me informa de que, a día 21/05/2021, los participantes no han utilizado esta vía de comunicación, para ello han utilizado las tutorías y/o correo electrónico. Al haber tres profesores, existen diferencias de criterio en cuanto la utilización o no de contrapeso como diferencias en los materiales para las uniones al poder utilizar o no celofán, cinta adhesiva, grapas u piezas plásticas en vez de solamente pegamento como es cola blanca, cola termofusible aplicada con pistola o pegamento fuerte de contacto. Por lo que se crea una tabla con las diferencias de criterio.

**Tabla 8.** Distinción de criterios observados

CRITERIO 1	CRITERIO 2
SI CONTRAPESO	NO CONTRAPESO
NO INVADIR ESPACIO BAJO VOLADIZO	POSIBLE INVADIR ESPACIO BAJO VOLADIZO
SOLO PEGAMENTO	POSIBILIDAD DE CINTA ADHESIVA
EXCEPCIÓN GRAPAS	EXCEPCION PIEZAS PLASTICAS

A continuación, se recoge una muestra según los criterios señalados anteriormente, la figura 45 muestra una estructura con contrapeso a la izquierda y a su derecha una estructura sin contrapeso.



**Fig. 45.** Estructura con contrapeso (izda), estructura sin contrapeso (dcha)

Otra de las diferencias más notables entre las estructuras de los participantes es si se permite o no invadir el espacio de debajo del voladizo pues como vemos en la figura 46 la forma y diseño es muy distinta, un tipo es en forma de Z (izda) y el otro en forma de C (dcha).



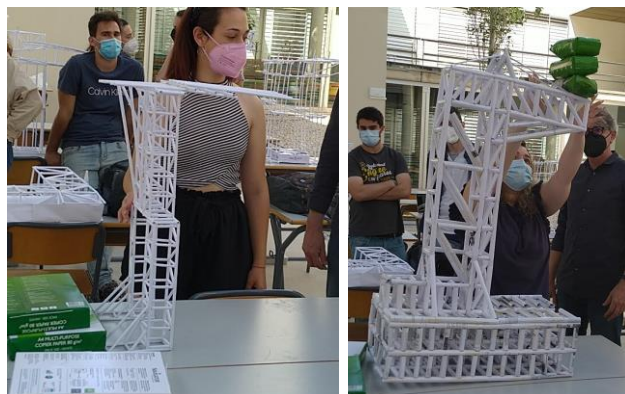


Fig. 46. Estructura tipología Z (izda), estructura tipología C (dcha)

En la figura 47 se muestran dos estructuras, a la izquierda se observa una maqueta donde solo se utiliza pegamento y a la derecha una maqueta donde se utiliza cinta adhesiva.



Fig. 47. Estructura con pegamento (izda), estructura con cinta adhesiva (dcha)

Por último, la figura 48 muestra las excepciones señaladas en la tabla 8, a la izquierda se ha ampliado la imagen de la estructura que utiliza grapas además de pegamento o cinta adhesiva y a la derecha se observa la maqueta con piezas plásticas en las uniones.

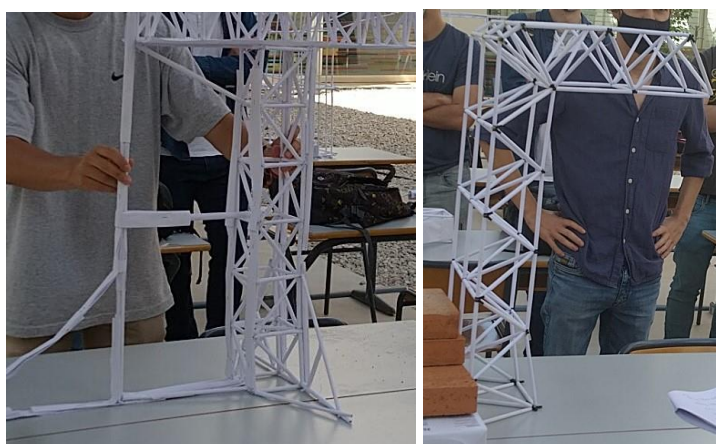


Fig. 48. Estructura con grapas metálicas (izda), estructura con piezas plásticas(dcha)

Según las bases de la XIX Edición del Concurso de Estructuras de la UA, las uniones son libres en cuanto a tipología y materiales por lo que las excepciones como grapas o piezas plásticas están permitidas.

Al realizar la entrega de premios y las pruebas de carga de forma presencial, es posible pesar todas las estructuras y la carga que se aplica hasta la rotura, por lo que la clasificación final se hace obteniendo la relación entre la carga aplicada y el peso de la maqueta ( $R/p$ ); Donde  $p$  es el peso propio de la estructura y  $R$  los  $kp$  de carga hasta la rotura de la estructura.

Con los resultados obtenidos el 21/05/2021 en la entrega de premios se ha creado la figura 49, recoge de forma gráfica el peso propio de las maquetas participantes y lo que se ha cargado en el extremo del voladizo hasta que la estructura se rompe. Se ha marcado una línea horizontal de color rojo que representa la carga mínima que debe resistir el prototipo ( $3kp = 3000$  gr.) como se indica en las bases.

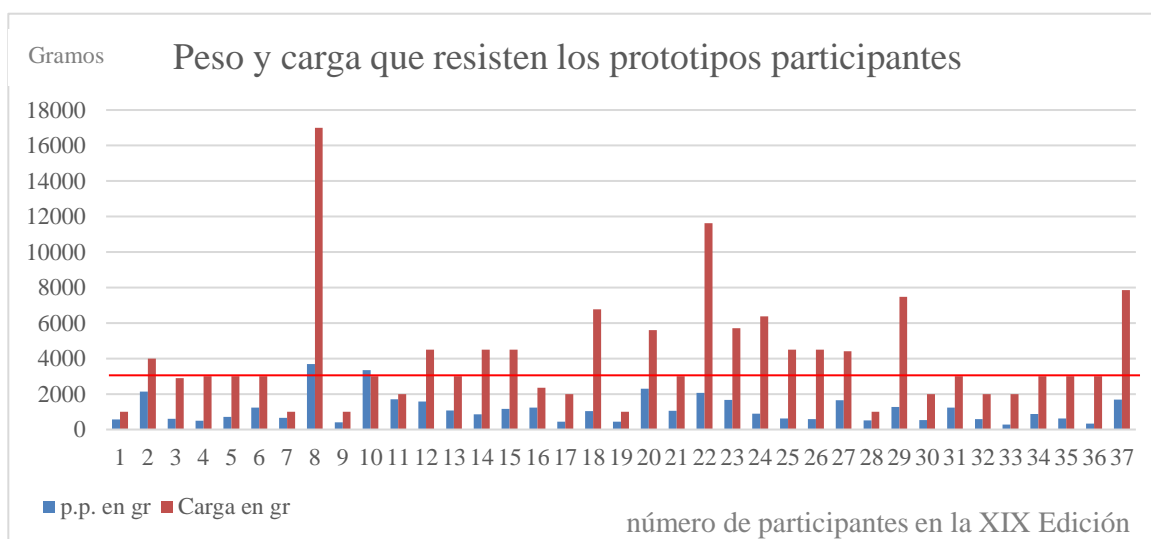


Fig. 49. Gráfico de los datos del peso propio y carga de rotura de los prototipos participantes del XIX Concurso de Estructuras de la UA

Con los resultados anteriores se crea otro gráfico (Fig.50) donde se obtiene un dato numérico adimensional que relaciona la carga que resiste cada prototipo en relación con su peso propio, mediante la fórmula  $R = C/p.p.$  Donde  $C$  es la carga que resiste cada participante y  $p.p.$  el peso de cada maqueta.

En la figura 50, se han marcado dos líneas horizontales, la línea azul corresponde al promedio calculado sobre el total del dato numérico correspondiente obtenido con la fórmula anterior y la línea roja queda establecida por las maquetas y prototipos que mejor

resultado obtienen y por lo tanto se estudia cuales finalmente son los clasificados de la XIX edición del Concurso de Estructuras de la UA.



Fig. 50. Gráfico de los datos de los participantes del XIX Concurso de Estructuras de la UA

Como muestra la figura 50, hay cuatro participantes cuyos resultados están por encima de 7 (línea roja horizontal) pero uno de ellos, al contrastarlo con el gráfico de la figura 49 podemos observar que no estaría clasificado pues no resiste la carga mínima de 3 kp, aunque la proporción entre la carga que ha resistido y el peso propio sea de 7'38. Por lo que los participantes clasificados son; en primer lugar, la estructura número 36, en segundo lugar, la estructura número 26 y en tercera posición la correspondiente al número 24, la figura 51 muestra los tres prototipos clasificados como ganadores de la XIX Edición.



Fig. 51. Primera, segunda y tercera maqueta clasificada en la XIX Edición del Concurso

Se realiza la entrega de premios de los tres clasificados que finalmente ha podido ser de forma presencial junto con un cuestionario final para el alumnado de satisfacción de la actividad docente del XIX Concurso de Estructuras de la Universidad de Alicante correspondiente al curso 2020/21.

Finalmente, tras contrastar los datos y las imágenes realizadas de un total de 37, 26 logran alcanzar el objetivo de soportar los 3 kp establecidos. Lo que supone que el 70 % de los participantes que por lo tanto logran alcanzar la calificación máxima otorgada en la actividad.

Con las respuestas recibidas de los participantes, una vez celebrada la edición, se introducen en Excel para calcular la media de la escala Likert con puntuaciones del 1 al 5 con relación a si están más o menos de acuerdo con las preguntas realizadas. Se crea otro cuestionario mediante Google forms. al igual que el cuestionario previo. con el fin de que el alumnado pueda realizarlo desde el móvil u ordenador sin la necesidad de imprimirlo físicamente para que sea recibido por el profesorado correspondiente o rellenar una plantilla pdf que se envía por correo electrónico perdiendo el anonimato. Por ello se crea un enlace y un código QR que da acceso al mismo con las cuestiones de la plantilla facilitada por el tutor a la que se añade una cuestión de respuesta abierta con el fin de que puedan expresar ideas y sugerencias más allá de las cuestiones realizadas.

En la figura 52 se muestra un gráfico con la media de las respuestas obtenidas a 29/05/2021 en la escala Likert del cuestionario final. La escala Likert se establece del 1 al 5 según se esté en menor o mayor grado de acuerdo, siendo el 1 el grado en mayor desacuerdo con la pregunta o afirmación establecida y el 5 el grado en mayor acuerdo con las preguntas o afirmaciones. Con todas las respuestas obtenidas (14) en la encuesta de satisfacción final se ha calculado el promedio de cada una de las preguntas con el fin de saber cuáles han recibido las puntuaciones más bajas en la escala Likert, por ello se ha marcado una línea de color naranja en el 2,5 con el fin de mostrar los aspectos a mejorar que son los que han obtenido una puntuación baja de forma general o la más alta, pero en sentido negativo.

En la parte izquierda de la Fig. 52 se observan las preguntas realizadas en el cuestionario final de satisfacción docente en referencia a la XIX Edición del Concurso de Estructuras de la UA y al lado de cada cuestión se muestra en promedio calculado de todas las respuestas obtenidas en la escala Likert (1 al 5). De forma general vemos que la media de las cuestiones realizadas es satisfactoria al encontrarse por encima de 2'5.

---



Fig. 52. Gráfico del promedio de las respuestas al cuestionario de satisfacción docente de la XIX Edición del Concurso de Estructuras de la Universidad de Alicante

Como muestra el gráfico anterior (Fig. 52) los resultados con las calificaciones medias más bajas en las que se pone atención, con la finalidad de mejorar la actividad como herramienta docente, son las siguientes;

- La actividad realizada me ha servido para mejorar mi preparación general en aspectos como, por ejemplo: expresión (oral y escrita), trabajo en equipo, uso de la información.
- Las horas de estudio y trabajo dedicados son adecuadas con el retorno obtenido de estas.
- La bibliografía y otros materiales recomendados me han resultado útiles.



Otra cuestión que destaca por su elevada puntuación, pero ello puede ser un factor negativo, es la pregunta de si han dedicado mayor esfuerzo a esta asignatura que ha otras por lo que también se tiene en cuenta como parámetro a mejorar.

Para mejorar todos estos factores se plantean posibles soluciones;

- En cuanto a mejorar la expresión oral, los participantes realizan una presentación de sus maquetas y una pequeña explicación de sus materiales y construcción el día final del concurso. Para ello habrá que calcular el tiempo necesario según el número de participantes y con el fin de que sea más rápido, el participante puede comenzar a realizar su presentación mientras se efectúa el pesaje de la estructura.
- Debido a las condiciones sanitarias excepcionales del curso 2020/2021 las maquetas se han realizado de manera individual, pero si es posible y se realizan en pequeños como en convocatorias anteriores puede ser una herramienta para trabajar en equipo y además reducir la carga u esfuerzo al compartir el trabajo.
- Al ser papel el material de la estructura de la XIX Edición, con unas medidas de 60 cm. de alto y 30 cm. en la parte volada, unido a la indicación de utilizar folios y pegamento, la mayoría de los participantes realizan churritos por lo que la manipulación del material requiere de tiempo. Para disminuir el mismo existen varias posibilidades como realizar estructuras de menores dimensiones, realizar la maqueta por parejas, indicar en las bases que en las uniones es posible utilizar otros materiales como; cinta adhesiva, grapas, plástico, etc.
- Por último y con el fin de mejorar los materiales relacionados con la actividad se genera una actividad en la aplicación Educaplay, en la que se muestran 27 estructuras de papel de las que han participado en la XIX Edición y se realizan cuestiones sobre el peso que soporta la viga volada y sobre si la estructura rompe o vuelca con una carga determinada. Se varía el enfoque de las cuestiones, así como las respuestas. Se introducen medidas de peso distintas y cálculos matemáticos rápidos. La actividad puede imprimirse (figura 53 izda), o realizar online donde se obtiene una puntuación y visualizar la corrección de las respuestas para saber si se ha acertado (figura 53 derecha).

La aplicación Educaplay (Gómez, 2021) permite también imprimir las preguntas y las opciones disponibles por si no es posible realizar la actividad de forma digital, así como recibir feedback de los resultados y repetir la actividad para mejorar la puntuación obtenida como muestra la figura 53.

---

## 14. SE CAEN SI QUITA LAS MANOS?



- ☐ NO SE CAE, PUEDE PONER OTRO
- ☐ AL QUITAR LAS MANOS SE CAEN
- ☐ PONE HASTA DOS MÁS

## 15. QUE PESO ROMPE O VUELCA LA ESTRUCTURA?



- ☐ AL SOBREPASAR 3000 GRAMOS
- ☐ CUANDO PASE DE 4500 GRAMOS
- ☐ A PARTIR DE LOS 2500 GRAMOS

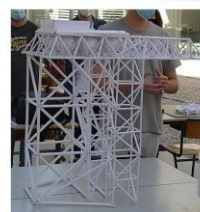


ESTRUCTURAS DE PAPEL  
QUE PASA CUANDO SUELTA LOS  
PESOS?

- ☐ NI SE ENTERA
- ☐ LA PARTE MAS BLANCA SE SUELTA



17.



ESTRUCTURAS DE PAPEL  
CON CUÁNTOS KILOPONDIOS ROMPE LA VIGA  
VOLADA?

- ☐ A LOS 3.5 KP ROMPE

Fig. 53. Muestra de la actividad impresa Educaplay (izda), muestra juego online (izda)

Al igual que en la aplicación anterior, se crea una actividad con las imágenes realizadas el día del XIX Concurso de Estructuras mediante Kahoot con el fin de generar actividades relacionadas con las estructuras que aumenten la motivación a través de la gamificación estimulando la intuición de forma lúdica en el aula.

La figura 54 recoge una muestra de la actividad realizada en Kahoot en la que se ha realizado una captura de pantalla de una de las cuestiones que se proyectaría en el aula y que el alumnado responde mediante sus dispositivos electrónicos. A diferencia con Educaplay dónde la actividad queda publicada y es posible acceder a ella mediante enlace o realizando una búsqueda en dicha plataforma, para realizar la actividad en Kahoot el autor genera un código pin que es aleatorio mediante el cual se da acceso a la actividad en el momento.



Fig. 54. Muestra de la actividad realizada en Kahoot



La versión gratuita de Kahoot nos permite realizar la actividad de forma individualizada o en equipos atendiendo a un máximo de 10 dispositivos por lo que atendiendo al número de participantes se genera el código pin en el momento de realizar la actividad en el aula. Otra opción permitida en la aplicación es crear un enlace donde la actividad se encuentra disponible durante un tiempo limitado, no más de 27 días.

En cuanto a la pregunta de respuesta abierta realizada en el cuestionario final, el alumnado aporta las siguientes ideas y sugerencias (26/05/2021);

- Bases más detalladas, donde se indiquen los materiales posibles a utilizar y la forma y/o tipología de la estructura especificada.
- Detalle de criterios calificación y clasificación de primeros puestos.
- Mejora de los premios que incrementen la motivación.

Por último, se crea la tabla 9 con los aspectos más relevantes, destacados y positivos de las Universidades recogidas en apartados anteriores, en ella se muestran los parámetros aplicables a los Concursos de Estructuras con el fin de mejorar las tasas de éxito y satisfacción de la actividad como herramienta docente de aprendizaje.

**Tabla 9.** Parámetros de éxito de los Concursos en las distintas Universidades

UNIVERSIDAD	PARÁMETROS DE ÉXITO
UNIVERSIDAD DE ALICANTE	Capacidad de adaptación de la Presencialidad Cambio de bases en cada edición Inclusión en la guía docente
UNIVERSIDAD DE ELCHE	Premios económicos altos Diferentes categorías, Feria
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA	Elección libre del material Uso de software en ediciones no presenciales
UNIVERSIDAD DE CANTERBURY	Prueba de Carga con participantes Tradición, canal YouTube
UNIVERSIDAD DE CUENCA	Difusión mediática Material sin manipulación (kit)
UNIVERSIDAD DE GRANADA	Inversión instalaciones de investigación Multidisciplinar
UNIVERSIDAD DE MADRID	Experimentación Disposición de Modelos y/o maquetas Mola
UNIVERSIDAD DE TONGJI	Patrocinio. Internacional. Interacción con las maquetas

## 9. CONCLUSIONES

Para solucionar los aspectos relacionados en cuanto al detalle de las bases del concurso, el panel y la presentación del concurso han de recoger ejemplos de materiales y de las tipologías estructurales más desarrolladas, donde se detallen varias posibilidades y/o variables.

Con el fin de la comprensión de las diferentes soluciones estructurales se propone su estudio y análisis en las clases de teoría, ligando aún más si cabe, la actividad a las asignaturas de cálculo estructural (EI 35518, CEI 16017).

Dedicar unos minutos las semanas previas al concurso durante las clases teóricas en las que se hable y consulte sobre la evolución y desarrollo del proceso constructivo de las estructuras y las dificultades o dudas al respecto.

Si es posible aumentar el valor de los premios a otorgar o la puntuación establecida para la actividad, premios tecnológicos y/o económicos pues logran un mayor esfuerzo por parte del alumnado sin que este lo vea como un factor negativo.

Explicar cómo se va a realizar la puesta en carga de las estructuras, así como su rotura si procede. Utilizar el laboratorio si las condiciones sanitarias lo permiten, mediante el cálculo de la resistencia de las estructuras con maquinaria, se obtienen datos más precisos y exactos.

Utilizar el kit Mola Estructural como modelo de comportamiento estructural durante las clases de teoría o mediante la realización de talleres o actividades, si es posible disponer de más kits con el fin de que el alumnado también pueda experimentar con él.

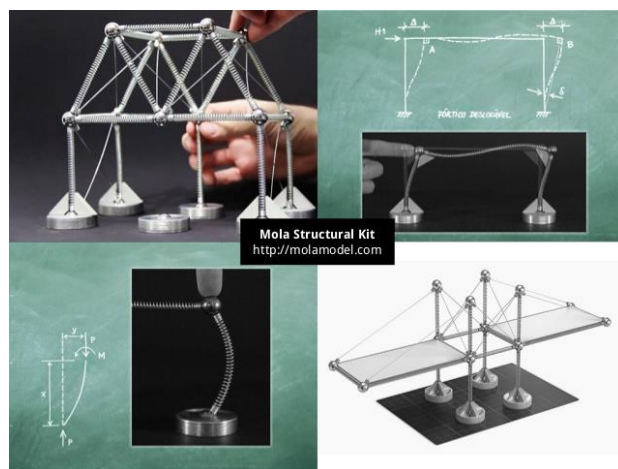


Fig. 55. Mola Structural Kit como herramienta en las clases teóricas

Las actividades en aplicaciones educativas ligadas a la gamificación pueden servir de ejemplo sobre distintas soluciones estructurales animando a los participantes a crear sus propias soluciones, además de motivar al alumnado de las asignaturas ligadas al cálculo de estructuras al cambiar la metodología de las clases magistrales tradicionales.

Otro punto relacionado que puede mejorar el concurso es que todos los participantes reciban un feedback lo más objetivo posible, para ello, durante la entrega de premios los participantes presentan sus prototipos y realizan una predicción de cuál es el punto por donde la estructura rompe o falla, para posteriormente ver que ha pasado realmente mediante la grabación con cámara lenta de la puesta en carga.

Si los premios se incrementan las calificaciones han de ser más rígidas en cuanto al cumplimiento de medidas mínimas que podrá realizarse antes o después del pesaje y previa la puesta en carga.

Tras la realización de un Máster durante la situación de alerta sanitaria, el curso 2019/2020, junto a la observación de la metodología actual docente del presente curso 2020/2021, se propone un cambio dirigido hacia el aula invertida donde el profesorado utilice las clases para resolver dudas, realizar ejercicios con el alumnado, ejecución de talleres, experimentación con kits, tiempo de concurso, etc. Para ello los contenidos teóricos, así como ejemplos de solución de ejercicios similares, han de ser previusualizados por el alumnado mediante presentaciones y videos editados por el tutor/a de la materia correspondiente.

Además de Moodle como plataforma educativa oficial en la que el alumnado dispone de los videos, textos y demás materiales correspondientes a las asignaturas relacionadas con cálculo de estructuras, se propone la creación de un aula virtual a través de Google Classroom con contenidos más lúdicos como las actividades creadas con las aplicaciones como Educaplay o Kahoot, el enlace al vídeo de la entrevista de Ter a Mike Schlaich, enlaces a los canales de You Tube de diferentes tipos de concursos, etc.

Por último, se muestra la captura de la clase virtual realizada mediante Google Classroom (Fig. 56), en la parte superior se muestra la cabecera de la aplicación con su código de acceso, otra forma de acceso es mediante la introducción de las direcciones electrónicas. En la zona del centro de la figura 56 se recogen los ejemplos de los enlaces de actividades alternativas que se incluyen en la clase virtual donde se reúne todo este material alternativo para futuras líneas de investigación, en las que se analicen los datos de satisfacción, así como las tasas de éxito de las asignaturas relacionadas con cálculo de

---

estructuras al cambiar a la metodología de aula invertida y su comparación con las tasas de éxito del presente curso 2020/2021.



#### Ejemplo de contenido y enlaces

Bases del concurso

Presentación

Actividades Educaplay

Estructuras de papel

Esfuerzos

Elementos estructurales

Tipos de estructuras

Actividad Kahoot

#### Videos:

- <https://vimeo.com/104801413> (Mola)
- <https://youtu.be/VeahtDy7n8I> (Ter)
- <https://youtu.be/qW9E8rEkuhY> (CE)
- <https://youtu.be/aITmOuyznJE>
- <https://youtu.be/ohdV5gzORps>

Fig. 56. Captura clase virtual mediante Google Classroom; aula invertida y ejemplo de contenidos alternativos relacionados con la materia que se incluyen en ella.

En la figura 57, se incluye una imagen extraída del video de la puesta en carga de la estructura realizada para la XIX Edición del Concurso de Estructuras de la UA, vista en el apartado anterior. La captura es del momento en el que la maqueta colapsa y rompe haciendo que la carga realizada con ladrillos caiga. Al disponer de un video de la puesta en carga hasta la rotura es posible corroborar si la zona por donde la maqueta falla y rompe finalmente corresponde con las ideas previas, así como determinar su similitud con la

maqueta Mola en el momento del colapso de la estructura o en relación con las deformadas que se han obtenido con el programa de cálculo de estructuras Cespla 7.



Fig. 57. Captura del video de la puesta en carga hasta la rotura de la maqueta realizada

Por último, se muestran las diferentes actividades creadas en Educaplay relacionadas con las Estructuras (Fig. 58), se crean tres tipos de actividades dos tipos test, la primera se realiza con las imágenes de la celebración de la XIX Edición y como se muestra anteriormente trabaja la intuición, la segunda actividad se trata de un mapa interactivo donde los participantes identifican en dos imágenes del mismo puente los elementos estructurales de este.(imagen real e imagen de la maqueta Mola que representa el mismo puente), en la tercera actividad se hace un repaso de la clasificación de las estructuras y en la cuarta se realizan cuestiones sobre identificación de esfuerzos todo ello buscando imágenes adecuadas e inclusivas.



Fig. 58. Tipos de actividades creadas en Educaplay relacionadas con las Estructuras

Otras ideas de mejora y futuras líneas de investigación relacionadas;

- Búsqueda de empresas patrocinadoras que cedan el material (ej. Empresa cartón).
- Realización del Concurso en varias categorías (ej estética, movilidad, póster).
- Cuota de inscripción, con el fin de dotar de premios económicos a las distintas categorías.
- Categorías relacionadas con otros grados como por ejemplo sonido e imagen, ingeniería electrónica, etc.
- Coordinación de la entrega de premios del Concurso con otros eventos como Feria tecnológica, conferencias, charlas o talleres. Disposición de zonas de ocio y descanso como música con DJ's, hinchables, foodtrucks, etc.
- Importancia de la inversión que apoyen proyectos de investigación, instalaciones tecnológicas como los túneles de viento, visita a centros y universidades que sean un ejemplo en cuanto a la innovación en el campo de las estructuras.
- Futuras líneas de investigación y proyectos de estructuras que muestren y se realicen mediante las nuevas aplicaciones de los llamados; materiales inteligentes, como por ejemplo la construcción de puentes o edificaciones con materiales que cambian de color según sean sometidos a ciertos esfuerzos, *como los revestimientos con polímeros que podrían usarse para indicar cuándo una estructura como un puente está siendo sometida a una tensión excesiva.* (Sottos N. , 2009). Aplicando estos polímeros en los recubrimientos de maquetas de puentes y edificaciones que alerten de daños estructurales y de su comportamiento estructural (Sottos N. e., 2016). Otro ejemplo de innovación estructural lo recoge el Museo Nacional de Ciencias Emergentes del Japón (Osorio, 2012) o el puente del Lago Dong Ting en China, donde se utiliza un material como aislante de movimiento magnetoreológico (ATIGA & Galicia, 2017) capaces de contrarrestar los esfuerzos producidos por los movimientos sísmicos o el viento como muestra la figura 59.



Fig. 59. Museo de Ciencias Emergentes en Japón (izda) y Puente del Lago Dong Ting en China (dcha) equipados con aislantes de movimiento magnetoreológicos



## 10. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Agudelo, J. (2013). Gaudí, el funicular de cargas y un software para calcular en 3d. *Estructurando*, 131.
- Agudelo, J. (04 de Noviembre de 2019). *OLM construcciones*. Obtenido de <https://www.olmconstrucciones.com.mx/2019/11/04/kit-mola-3/>
- Aisc.org. (21 de 05 de 2021). *American Institute of Steel Construction*. Obtenido de <https://www.aisc.org/education/university-programs/student-steel-bridge-competition/covid-19-response/>.
- al, H. S. (2016). Estudio experimental del puente Castilla La Mancha (Talavera de la Reina) en túnel de viento. Coruña, España: [https://www.udc.es/citeec/images/proyectos/aeroelastica/proyectos\\_aeroelastica3.pdf](https://www.udc.es/citeec/images/proyectos/aeroelastica/proyectos_aeroelastica3.pdf).
- Almodóvar, E. (9 de Marzo de 2018). *Visite Elche*. Obtenido de Exposiciones. Concurso de Puentes de la UMH: <https://www.visitelche.com/concurso-puentes-la-umh/>
- Álvarez, G. e. (2020). La docencia en la Enseñanza Superior: Nuevas aportaciones desde la investigación e innovación educativas. Alicante: Octaedro. ISBN 978-84-18348-11-2. págs. 939-951.
- Andrés, O., & Ortega, N. (1994). An extension of Gaudi's funicular technique to the conception and generation of structural surfaces. *IASS B.35*, 161-72.
- Antuña, J. (2019). Construir y romper estructuras: un curso práctico de introducción a las estructuras. *CMMoST: 5th International Conference on Mechanical Models in Structural Engineering, Polytechnic School of Alicante*. Alicante: Editorial Club Universitario. ISBN 978-84-17924-58-4, págs. 171-181.
- Architecturaldesignschool*. (s.f.). Obtenido de <https://spa.architecturaldesignschool.com/frei-otto-importance-experimentation-architecture-31366>
- Arroyo, J. e. (2018). *Números gordos*. Cinter.
- Asia, S. (10 de Junio de 2019). *Tongji International Construction Festival*. Obtenido de <http://suaecasia.arch.kyushu-u.ac.jp/events/detail/18>
- ATIGA, & Galicia, A. T. (2017). Estado del Arte de Materiales Inteligentes. *Oportunidades Industria 4.0 en Galicia*, 17-18.
- Azpilicueta, E. (2020). *Tectonica.archi*. Obtenido de <https://tectonica.archi/articles/es-posible-seguir-buscando-el-limite-o-algunas-reflexiones-sobre-la-sostenibilidad/>
- Barris, C. T. (2016). Learning based on the project entitled 'Desing and construction of a wooden bridge'. *Technology and Science Education*, 135-143.
- Brook, K. (2014). *University of Canterbury*. Obtenido de <https://www.canterbury.ac.nz/news/2014/student-bridge-building-competition-.html>
-

- Buhman, S. (20 de Agosto de 2020). *American Institut of Steel Construction*. Obtenido de AISC:  
<https://www.aisc.org/education/university-programs/student-steel-bridge-competition/regionals/>
- Caminos, E. I. (2021). *divulgación ETS Ingeniería de Caminos*. Obtenido de unican:  
<https://divulgacaminos.unican.es/concurso-de-puentes/>
- Celigüeta, J. (Junio de 2011). Cálculo de estructuras con Cespla 7. España: Universidad de Navarra.
- Celigüeta, J. (05 de mayo de 2021). *unav.edu*. Obtenido de  
<https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/19070/1/Guia%20uso%20Cespla%207.pdf>
- Dark, S., & Bram, D. (2007). The modifiable areal unit problem (MAUP) in physical geography. *Progress in Physical Geography*, 31(5), 471-479.
- De Justo, E. (2013). Diseño y evaluación de un programa para el aprendizaje de las estructuras de Edificación mediante ABP en la Escuela Tecnica Superior de Arquitectura. Universidad de Sevilla.
- Del Amo, S. (16 de Febrero de 2020). *En este año olímpico, repasamos 12 arquitecturas de Olimpiadas que han hecho historia*. Obtenido de Arquitectura y Diseño:  
[https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/juegos-olimpicos-y-grandes-arquitectura-siempre-se-han-llevado-bien\\_3417](https://www.arquitecturaydiseno.es/arquitectura/juegos-olimpicos-y-grandes-arquitectura-siempre-se-han-llevado-bien_3417)
- G., R. (14 de 10 de 2020). *Impulso a la construcción del mayor túnel de viento de España en Granada*. Obtenido de [https://www.granadahoy.com/granada/empresa-granadina-levanta-Escuzar-Espana\\_0\\_1026497871.html](https://www.granadahoy.com/granada/empresa-granadina-levanta-Escuzar-Espana_0_1026497871.html)
- Gómez, L. (29 de Mayo de 2021). *Educaplay*. Obtenido de [https://es.educaplay.com/recursos-educativos/9445813-estructuras\\_de\\_papel.html](https://es.educaplay.com/recursos-educativos/9445813-estructuras_de_papel.html)
- Gómez, L. (2021). Revisión histórica de una actividad e innovación docente en el ámbito universitario: Concurso de Estructuras. *REDES INNOVAESTIC 2021* (págs. 213-214). ALICANTE: ICE (Instituto de Ciencias de la Educación).
- Gordon, J. (2015). *Estructuras o por qué las cosas no se caen*. Calamar.
- Greig-Smith, P. (1983). *Quantitative Plant Ecology* (3ª ed.). Berkeley: University of California Press.
- Gunt.de. (07 de 05 de 2021). *gunt Hamburg*. Obtenido de <https://gunt.de/es/>
- ingenieriacivilfsa. (20 de mayo de 2021). *ingenieriacivilfsa.blogspot*. Obtenido de <https://ingenieriacivilfsa.blogspot.com/2010/03/software-para-el-calculo-de-estructuras.html>
- J., A. (2019). Construir y romper estructuras: un curso práctico de introducción a las estructuras. Alicante, España: CMMoST 5th. ISBN 978-84-17924-58-4, págs. 171-181.
- Jurado, J. e. (2017). Dialnet. *VII Congreso Internacional de Estructuras* (págs. 219-220). Coruña: ISSN 0439-5689 v. 68.
-

- Kohara, K. (2008). A Study on Timber Structural Education Based on Competition Style. *Gifu Academy of Forest Science and Culture Mino City, Gifu*.
- Kohara, K. (2008). *Academy of Forest Science and Culture. Mino City*. Obtenido de [http://support.sbcindustry.com/Archive/2008/june/Paper\\_071.pdf?PHPSESSID=ju29kfh90oviu5o371pv47cgf3](http://support.sbcindustry.com/Archive/2008/june/Paper_071.pdf?PHPSESSID=ju29kfh90oviu5o371pv47cgf3)
- Lowry, M. (2021). *Okanagan College*. Obtenido de <https://www.okanagan.bc.ca/departments/spaghetti-bridge-history>
- Lozano, V. (11 de 2013). DISEÑO DE UN SIMULADOR SISMICO. Almeria, España: Univeridad de Almeria. Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias Experimentales.
- Osorio, D. (2012). DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE UN FLUIDO MAGNETOREOLOGICO. *TFG Ingeniería de Materiales*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Pérez, M. e. (2020). Los concursos de arquitectura como herramienta para el aprendizaje cooperativo y colaborativo en el grado de arquitectura. *XIV Jornadas Redes ICE*. Alicante: ISBN 978-84-608-7976-3. pg. 369-382.
- Pomares Torres, J. (s.f.). Conferencia 2016.Redes ICE UA
- Pomares, J. (2013). *Aprendizaje y Motivación en la Enseñanza de las Estructuras. III Jornadas Internacionales de Enseñanza de la Ingeniería Estructural*. Alicante: ACHE.
- Pomares, J. (Convocatoria 2018/19). *Memorias del Programa de Redes-I3CE de calidad, innovación e investigación en docencia universitaria*. Alicante: Redes I3CE.
- Riazi, A. K. (2020). Estimating the weight and the failure load of a spaghetti bridge; a deep learning approach. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence V.32*, 875-884.
- Roig-Vila, R. (2020). Redes de Investigación e Innovación en Docencia Universitaria. (pág. 541-542). Alicante: Octaedro.
- Roig-Vila, R. e. (2019/20). Memorias del Programa de Redes-I3CE de calidad, innovación e investigación en docencia universitaria. Alicante: ICE UA. ISBN 978-84-09-24478-2. pg. 629-634.
- Romero, K. (2016). IMPLEMENTACIÓN DE UNA MESA VIBRATORIA PARA EL ANÁLISIS DINÁMICO DE ESTRUCTURAS. Ambato, Ecuador: FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO.
- Sarmiento, J. (2017). Maquetas y prototipos como herramientas de aprendizaje en arquitectura. Instituto Superior Politécnico. *Arquitectura y Urbanismo.vol. XXXVIII*, 43-52.
- Selvi, E. S. (2011). Similar consecutive bridge design projects for freshmen and sophomore level engineering courses. *ASEE Annual Conference and Exposition, Conference Proceedings* (págs. 22.1292.1-22.1292.7). Muskingum University: American Society for Engineering Education.
- Sequeira, M. (2008). Mola Structural Kit. *Tesis*. Sao Paulo, Brasil.
-

- Solana, I. (24 de 4 de 2013). *Universidad de Navarra*. Obtenido de Estudiantes de Arquitectura construyen puentes con espaguetis: <https://www.unav.edu/en/web/facultad-de-derecho/detalle-noticia-pestana?articleId=2670312&articleId=2670312&tituloNoticia=null?fechaNoticia=null>
- Sottos, N. (12 de 05 de 2009). *euskadi.eus*. Obtenido de [https://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/contenidos/noticia/20090508\\_material/es\\_material/20090508\\_material.html](https://www.euskadi.eus/gobierno-vasco/contenidos/noticia/20090508_material/es_material/20090508_material.html)
- Sottos, N. e. (2016). amage Detection: Autonomous Indication of Mechanical Damage in Polymeric Coatings. *Advanced Materials*, Vol. 28 Issue 11.
- Todisco, L., & Corres, H. (2017). Nuevas posibilidades en el diseño conceptual de estructuras eficientes. *Hormigón y Acero*, ISSN 0439-5689) v.68. pg.282-283.
- Torroja, E. (2007). *Razón y ser de los tipos estructurales*. CSIC.
- TotalWinePack. (2014). *Total Safe Pack*. Obtenido de <https://www.totalsafepack.com/concurso-de-arquitectura-con-carton/>
- UPCT. (11 de 03 de 2019). *Campus de la Ingeniería*. Obtenido de Torres y Puentes: <https://campusdelaingenieria.upct.es/news/taller-de-torres-y-puentes-3>
- upm.es. (2017/18). *Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de <https://blogs.upm.es/talentocaminos/spaguetti-bridge/>
- UTFSM. (2019). *Universidad Técnica Federico Santa María*. Obtenido de <https://eventos.usm.cl/evento/concurso-nacional-de-estructuras-2019/>
- Vázquez, M. L. (1988). *Mecánica para ingenieros: estática*. Noela.
- Wong, D. W. (1996). Aggregation effects in geo-referenced data. En S. L. Arlinghaus (Ed.), *Practical Handbook of Spatial Statistics* (págs. 83-106). Boca Ratón (Florida): CRC Press.
- Zapopan, J. (Mayo de 2019). *Universidad Panamericana*. Obtenido de: <https://www.up.edu.mx/es/noticias/35981/ganan-alumnos-de-ingenieria-civil-y-administracion-en-concurso-internacional-de>
-